



GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
DE FOMENTO

MINISTERIO
DE AGRICULTURA, ALIMENTACIÓN
Y MEDIO AMBIENTE

CEDEX

CENTRO DE ESTUDIOS
Y EXPERIMENTACIÓN
DE OBRAS PÚBLICAS

INFORME TÉCNICO

para

Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente

Secretaría de Estado de Medio Ambiente

Dirección General del Agua

**ESTUDIO DE LOS IMPACTOS DEL CAMBIO
CLIMÁTICO EN LOS RECURSOS HÍDRICOS
Y LAS MASAS DE AGUA**

**EFFECTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LOS RECURSOS
HÍDRICOS DISPONIBLES EN LOS SISTEMAS DE
EXPLOTACIÓN**

INFORME

TOMO ÚNICO

Clave CEDEX: 43-308-5-001

Madrid, diciembre de 2012

Centro de Estudios Hidrográficos



GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
DE FOMENTO

MINISTERIO
DE AGRICULTURA,
ALIMENTACIÓN
Y MEDIO AMBIENTE

CEDEX
CENTRO DE ESTUDIOS
Y EXPERIMENTACIÓN
DE OBRAS PÚBLICAS

INFORME TÉCNICO

para

Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente

Secretaría de Estado de Medio Ambiente

Dirección General del Agua

ESTUDIO DE LOS IMPACTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LOS RECURSOS HÍDRICOS Y LAS MASAS DE AGUA

EFECTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LOS RECURSOS HÍDRICOS DISPONIBLES EN LOS SISTEMAS DE EXPLOTACIÓN

INFORME

TOMO ÚNICO

Clave CEDEX: 43-308-5-001

Centro de Estudios Hidrográficos



GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
DE FOMENTO

MINISTERIO
DE AGRICULTURA,
ALIMENTACIÓN Y
MEDIO AMBIENTE

CEDEX
CENTRO DE ESTUDIOS
Y EXPERIMENTACIÓN
DE OBRAS PÚBLICAS

TÍTULO:

**ESTUDIO DE LOS IMPACTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO
EN LOS RECURSOS HÍDRICOS Y LAS MASAS DE AGUA
EFECTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LOS RECURSOS HÍDRICOS
DISPONIBLES EN LOS SISTEMAS DE EXPLOTACIÓN**

INFORME

CLIENTE:

Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente
Secretaría de Estado de Medio Ambiente
Dirección General del Agua

EL PRESENTE INFORME CONSTITUYE UN DOCUMENTO OFICIAL DE ESTE TRABAJO Y, DE ACUERDO CON LAS NORMAS GENERALES DEL ORGANISMO, SU ENTREGA SUPONE EL CUMPLIMIENTO DE LAS ACTUACIONES TÉCNICAS DEL MISMO REFERENTES A LA MATERIA OBJETO DEL INFORME.

VALIDEZ OFICIAL

VISTO EL CONTENIDO DEL INFORME Y SIENDO ACORDE CON LAS CLÁUSULAS DEL CONVENIO DE COLABORACIÓN CORRESPONDIENTE, SE PROPONE AUTORIZAR SU EMISIÓN.

EL DIRECTOR DEL CENTRO DE ESTUDIOS HIDROGRÁFICOS

Fdo. Federico Estrada Lorenzo

AUTORIZA LA EMISIÓN DEL INFORME:

Madrid, a 10 de diciembre de 2012

EL DIRECTOR DEL CEDEX

Fdo. Mariano Navas Gutiérrez



SOLO SON INFORMES OFICIALES DEL CENTRO DE ESTUDIOS Y EXPERIMENTACIÓN DE OBRAS PÚBLICAS (CEDEX) LOS REFRENDADOS POR SU DIRECCIÓN



ÍNDICE

RESUMEN EJECUTIVO

1. INTRODUCCIÓN	1
2. ANTECEDENTES	2
2.1. <i>EVALUACIÓN DEL RECURSO DISPONIBLE A NIVEL NACIONAL</i>	2
2.2. <i>EVALUACIÓN DE LA AFECCIÓN DEL CAMBIO CLIMÁTICO SOBRE EL RECURSO DISPONIBLE</i>	4
3. METODOLOGÍA	6
3.1. <i>CONCEPTO DE SISTEMA DE EXPLOTACIÓN</i>	6
3.2. <i>ELEMENTOS QUE INTEGRAN EL SISTEMA DE EXPLOTACIÓN</i>	6
3.2.1. <i>MASAS DE AGUA</i>	6
3.2.2. <i>APORTACIONES</i>	11
3.2.3. <i>DEMANDAS</i>	14
3.2.4. <i>CONDUCCIONES</i>	20
3.2.5. <i>RESTRICCIONES PREVIAS</i>	20
3.3. <i>MODELO DE OPTIMIZACIÓN DE LA GESTIÓN DEL SISTEMA DE EXPLOTACIÓN</i>	23
3.4. <i>PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO DEL RECURSO DISPONIBLE Y ANÁLISIS REALIZADOS</i>	27
4. ANÁLISIS POR DEMARCACIONES HIDROGRÁFICAS	31
4.1. <i>DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DEL CANTÁBRICO OCCIDENTAL</i>	31
4.1.1. <i>ELEMENTOS QUE INTEGRAN EL SISTEMA</i>	31
4.1.2. <i>ESQUEMA DE CÁLCULO</i>	34
4.1.3. <i>RESULTADOS</i>	35
4.2. <i>DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DEL CANTÁBRICO ORIENTAL</i>	38
4.2.1. <i>ELEMENTOS QUE INTEGRAN EL SISTEMA</i>	38
4.2.2. <i>ESQUEMA DE CÁLCULO</i>	42
4.2.3. <i>RESULTADOS</i>	43
4.3. <i>DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DEL MIÑO-SIL</i>	46
4.3.1. <i>ELEMENTOS QUE INTEGRAN EL SISTEMA</i>	46
4.3.2. <i>ESQUEMA DE CÁLCULO</i>	50
4.3.3. <i>RESULTADOS</i>	51
4.4. <i>DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DEL DUERO</i>	55
4.4.1. <i>ELEMENTOS QUE INTEGRAN EL SISTEMA</i>	55
4.4.2. <i>ESQUEMA DE CÁLCULO</i>	60
4.4.3. <i>RESULTADOS</i>	61
4.5. <i>DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DEL TAJO</i>	65
4.5.1. <i>ELEMENTOS QUE INTEGRAN EL SISTEMA</i>	65



4.5.2. ESQUEMA DE CÁLCULO	69
4.5.3. RESULTADOS	71
4.6. DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DEL GUADIANA	74
4.6.1. ELEMENTOS QUE INTEGRAN EL SISTEMA	74
4.6.2. ESQUEMA DE CÁLCULO	77
4.6.3. RESULTADOS	79
4.7. DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DEL GUADALQUIVIR	83
4.7.1. ELEMENTOS QUE INTEGRAN EL SISTEMA	83
4.7.2. ESQUEMA DE CÁLCULO	87
4.7.3. RESULTADOS	89
4.8. DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DEL SEGURA	92
4.8.1. ELEMENTOS QUE INTEGRAN EL SISTEMA	92
4.8.2. ESQUEMA DE CÁLCULO	96
4.8.3. RESULTADOS	98
4.9. DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DEL JÚCAR	102
4.9.1. ELEMENTOS QUE INTEGRAN EL SISTEMA	102
4.9.2. ESQUEMA DE CÁLCULO	106
4.9.3. RESULTADOS	107
4.10. DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DEL EBRO	111
4.10.1. ELEMENTOS QUE INTEGRAN EL SISTEMA	111
4.10.2. ESQUEMA DE CÁLCULO	114
4.10.3. RESULTADOS	116
4.11. DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DEL GALICIA COSTA	119
4.11.1. ELEMENTOS QUE INTEGRAN EL SISTEMA	119
4.11.2. ESQUEMA DE CÁLCULO	122
4.11.3. RESULTADOS	124
4.12. DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DEL TINTO, ODIEL Y PIEDRAS	127
4.12.1. ELEMENTOS QUE INTEGRAN EL SISTEMA	127
4.12.2. ESQUEMA DE CÁLCULO	129
4.12.3. RESULTADOS	131
4.13. DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA GUADALETE-BARBATE	134
4.13.1. ELEMENTOS QUE INTEGRAN EL SISTEMA	134
4.13.2. ESQUEMA DE CÁLCULO	137
4.13.3. RESULTADOS	138
4.14. DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DE LAS CUENCAS MEDITERRÁNEAS ANDALUZAS	142
4.14.1. ELEMENTOS QUE INTEGRAN EL SISTEMA	142
4.14.2. ESQUEMA DE CÁLCULO	145
4.14.3. RESULTADOS	146
4.15. DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DE LAS CUENCAS INTERNAS DE CATALUÑA	150
4.15.1. ELEMENTOS QUE INTEGRAN EL SISTEMA	150
4.15.2. ESQUEMA DE CÁLCULO	154



4.15.3. RESULTADOS.....	155
5. RESUMEN Y CONCLUSIONES.....	160
5.1. ANÁLISIS EN EL PERÍODO DE CONTROL	163
5.2. EVOLUCIÓN DEL RECURSO DISPONIBLE A LO LARGO DEL TIEMPO.	164
6. EQUIPO REDACTOR DEL ESTUDIO.....	166
7. REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA.....	167
ANEJO 1: RECURSO DISPONIBLE Y SERIES DE APORTACIÓN ANUAL EN RÉGIMEN NATURAL PARA CADA DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA	



ÍNDICE DETALLADO

RESUMEN EJECUTIVO

1. INTRODUCCIÓN	1
2. ANTECEDENTES	2
2.1. <i>EVALUACIÓN DEL RECURSO DISPONIBLE A NIVEL NACIONAL</i>	2
2.2. <i>EVALUACIÓN DE LA AFECCIÓN DEL CAMBIO CLIMÁTICO SOBRE EL RECURSO DISPONIBLE</i>	4
3. METODOLOGÍA	6
3.1. <i>CONCEPTO DE SISTEMA DE EXPLOTACIÓN</i>	6
3.2. <i>ELEMENTOS QUE INTEGRAN EL SISTEMA DE EXPLOTACIÓN</i>	6
3.2.1. MASAS DE AGUA	6
3.2.1.1. RÍOS.....	7
3.2.1.2. EMBALSES	7
3.2.2. APORTACIONES	11
3.2.3. DEMANDAS	14
3.2.3.1. MODULACIÓN DE LA DEMANDA	15
3.2.3.2. CRITERIO DE GARANTÍA	15
3.2.3.3. AGRUPACIÓN DE DEMANDAS	16
3.2.4. CONDUCCIONES	20
3.2.5. RESTRICCIONES PREVIAS.....	20
3.2.5.1. RESTRICCIONES GEOPOLÍTICAS	20
3.2.5.2. RESTRICCIONES AMBIENTALES	21
3.3. <i>MODELO DE OPTIMIZACIÓN DE LA GESTIÓN DEL SISTEMA DE EXPLOTACIÓN</i>	23
3.4. <i>PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO DEL RECURSO DISPONIBLE Y ANÁLISIS REALIZADOS</i>	27
4. ANÁLISIS POR DEMARCACIONES HIDROGRÁFICAS	31
4.1. <i>DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DEL CANTÁBRICO OCCIDENTAL</i>	31
4.1.1. ELEMENTOS QUE INTEGRAN EL SISTEMA	31
4.1.1.1. APORTACIONES	31
4.1.1.2. DEMANDAS	32
4.1.1.3. CAUDALES MÍNIMOS.....	32
4.1.1.4. ELEMENTOS DE REGULACIÓN.....	32
4.1.1.5. CONDUCCIONES	33
4.1.2. ESQUEMA DE CÁLCULO.....	34
4.1.3. RESULTADOS	35
4.1.3.1. PERÍODO DE CONTROL: COMPARACIÓN ENTRE LOS RESULTADOS OBTENIDOS A PARTIR DE DIFERENTES PROYECCIONES Y DE DATOS OBSERVADOS.	35



4.1.3.2.	EVOLUCIÓN DEL RECURSO DISPONIBLE CON RESPECTO AL PERÍODO DE CONTROL PARA LAS DISTINTAS PROYECCIONES.....	36
4.2.	<i>DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DEL CANTÁBRICO ORIENTAL</i>	38
4.2.1.	ELEMENTOS QUE INTEGRAN EL SISTEMA.....	38
4.2.1.1.	APORTACIONES	38
4.2.1.2.	DEMANDAS.....	40
4.2.1.3.	CAUDALES MÍNIMOS.....	40
4.2.1.4.	ELEMENTOS DE REGULACIÓN	41
4.2.1.5.	CONDUCCIONES	41
4.2.2.	ESQUEMA DE CÁLCULO	42
4.2.3.	RESULTADOS.....	43
4.2.3.1.	PERÍODO DE CONTROL: COMPARACIÓN ENTRE LOS RESULTADOS OBTENIDOS A PARTIR DE DIFERENTES PROYECCIONES Y DE DATOS OBSERVADOS.....	43
4.2.3.2.	EVOLUCIÓN DEL RECURSO DISPONIBLE CON RESPECTO AL PERÍODO DE CONTROL PARA LAS DISTINTAS PROYECCIONES.....	44
4.2.3.3.	EFFECTO DE LAS RESTRICCIONES AMBIENTALES	45
4.3.	<i>DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DEL MIÑO-SIL</i>	46
4.3.1.	ELEMENTOS QUE INTEGRAN EL SISTEMA.....	46
4.3.1.1.	APORTACIONES	46
4.3.1.2.	DEMANDAS.....	48
4.3.1.3.	CAUDALES MÍNIMOS.....	49
4.3.1.4.	ELEMENTOS DE REGULACIÓN	49
4.3.1.5.	CONDUCCIONES	50
4.3.2.	ESQUEMA DE CÁLCULO	50
4.3.3.	RESULTADOS.....	51
4.3.3.1.	PERIODO DE CONTROL: COMPARACIÓN ENTRE LOS RESULTADOS OBTENIDOS A PARTIR DE DIFERENTES PROYECCIONES Y DE DATOS OBSERVADOS.....	51
4.3.3.2.	EVOLUCIÓN DEL RECURSO DISPONIBLE CON RESPECTO AL PERÍODO DE CONTROL PARA LAS DISTINTAS PROYECCIONES.....	53
4.3.3.3.	EFFECTO DE LAS RESTRICCIONES AMBIENTALES	55
4.4.	<i>DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DEL DUERO</i>	55
4.4.1.	ELEMENTOS QUE INTEGRAN EL SISTEMA.....	55
4.4.1.1.	APORTACIONES	55
4.4.1.2.	DEMANDAS.....	57
4.4.1.3.	CAUDALES MÍNIMOS.....	57
4.4.1.4.	ELEMENTOS DE REGULACIÓN	58
4.4.1.5.	CONDUCCIONES	59
4.4.2.	ESQUEMA DE CÁLCULO	60
4.4.3.	RESULTADOS.....	61
4.4.3.1.	PERÍODO DE CONTROL: COMPARACIÓN ENTRE LOS RESULTADOS OBTENIDOS A PARTIR DE DIFERENTES PROYECCIONES Y DE DATOS OBSERVADOS.....	61
4.4.3.2.	EVOLUCIÓN DEL RECURSO DISPONIBLE CON RESPECTO AL PERÍODO DE CONTROL PARA LAS DISTINTAS PROYECCIONES.....	63



4.4.3.3.	EFFECTO DE LAS RESTRICCIONES AMBIENTALES	65
4.5.	DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DEL TAJO	65
4.5.1.	ELEMENTOS QUE INTEGRAN EL SISTEMA	65
4.5.1.1.	APORTACIONES	66
4.5.1.2.	DEMANDAS	67
4.5.1.3.	CAUDALES MÍNIMOS.....	67
4.5.1.4.	ELEMENTOS DE REGULACIÓN.....	67
4.5.1.5.	CONDUCCIONES	69
4.5.2.	ESQUEMA DE CÁLCULO	69
4.5.3.	RESULTADOS	71
4.5.3.1.	PERIODO DE CONTROL: COMPARACIÓN ENTRE LOS RESULTADOS OBTENIDOS A PARTIR DE DIFERENTES PROYECCIONES Y DE DATOS OBSERVADOS	71
4.5.3.2.	EVOLUCIÓN DEL RECURSO DISPONIBLE CON RESPECTO AL PERIODO DE CONTROL PARA LAS DISTINTAS PROYECCIONES.....	72
4.6.	DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DEL GUADIANA.....	74
4.6.1.	ELEMENTOS QUE INTEGRAN EL SISTEMA	74
4.6.1.1.	APORTACIONES	74
4.6.1.2.	DEMANDAS	75
4.6.1.3.	CAUDALES MÍNIMOS.....	76
4.6.1.4.	ELEMENTOS DE REGULACIÓN.....	76
4.6.1.5.	CONDUCCIONES	77
4.6.2.	ESQUEMA DE CÁLCULO.....	77
4.6.3.	RESULTADOS	79
4.6.3.1.	PERÍODO DE CONTROL: COMPARACIÓN ENTRE LOS RESULTADOS OBTENIDOS A PARTIR DE DIFERENTES PROYECCIONES Y DE DATOS OBSERVADOS.	79
4.6.3.2.	EVOLUCIÓN DEL RECURSO DISPONIBLE CON RESPECTO AL PERÍODO DE CONTROL PARA LAS DISTINTAS PROYECCIONES.....	80
4.7.	DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DEL GUADALQUIVIR	83
4.7.1.	ELEMENTOS QUE INTEGRAN EL SISTEMA	83
4.7.1.1.	APORTACIONES	83
4.7.1.2.	DEMANDAS	84
4.7.1.3.	CAUDALES MÍNIMOS.....	85
4.7.1.4.	ELEMENTOS DE REGULACIÓN.....	85
4.7.1.5.	CONDUCCIONES	87
4.7.2.	ESQUEMA DE CÁLCULO	87
4.7.3.	RESULTADOS	89
4.7.3.1.	PERÍODO DE CONTROL: COMPARACIÓN ENTRE LOS RESULTADOS OBTENIDOS A PARTIR DE DIFERENTES PROYECCIONES Y DE DATOS OBSERVADOS,	89
4.7.3.2.	EVOLUCIÓN DEL RECURSO DISPONIBLE CON RESPECTO AL PERÍODO DE CONTROL PARA LAS DISTINTAS PROYECCIONES.....	89
4.7.3.3.	EFFECTO DE LAS RESTRICCIONES AMBIENTALES	92
4.8.	DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DEL SEGURA	92
4.8.1.	ELEMENTOS QUE INTEGRAN EL SISTEMA	92



4.8.1.1.	APORTACIONES	92
4.8.1.2.	DEMANDAS.....	94
4.8.1.3.	CAUDALES MÍNIMOS.....	95
4.8.1.4.	ELEMENTOS DE REGULACIÓN	95
4.8.1.5.	CONDUCCIONES	95
4.8.2.	ESQUEMA DE CÁLCULO	96
4.8.3.	RESULTADOS.....	98
4.8.3.1.	PERÍODO DE CONTROL: COMPARACIÓN ENTRE LOS RESULTADOS OBTENIDOS A PARTIR DE DIFERENTES PROYECCIONES Y DE DATOS OBSERVADOS.....	98
4.8.3.2.	EVOLUCIÓN DEL RECURSO DISPONIBLE CON RESPECTO AL PERÍODO DE CONTROL PARA LAS DISTINTAS PROYECCIONES.....	100
4.9.	<i>DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DEL JÚCAR</i>	102
4.9.1.	ELEMENTOS QUE INTEGRAN EL SISTEMA.....	102
4.9.1.1.	APORTACIONES	102
4.9.1.2.	DEMANDAS.....	104
4.9.1.3.	CAUDALES MÍNIMOS.....	104
4.9.1.4.	ELEMENTOS DE REGULACIÓN	105
4.9.1.5.	CONDUCCIONES	105
4.9.2.	ESQUEMA DE CÁLCULO	106
4.9.3.	RESULTADOS.....	107
4.9.3.1.	PERIODO DE CONTROL: COMPARACIÓN ENTRE LOS RESULTADOS OBTENIDOS A PARTIR DE DIFERENTES PROYECCIONES Y DE DATOS OBSERVADOS.....	107
4.9.3.2.	EVOLUCIÓN DEL RECURSO DISPONIBLE CON RESPECTO AL PERÍODO DE CONTROL PARA LAS DISTINTAS PROYECCIONES.....	108
4.10.	<i>DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DEL EBRO</i>	111
4.10.1.	ELEMENTOS QUE INTEGRAN EL SISTEMA.....	111
4.10.1.1.	APORTACIONES	111
4.10.1.2.	DEMANDAS.....	112
4.10.1.3.	CAUDALES MÍNIMOS.....	112
4.10.1.4.	ELEMENTOS DE REGULACIÓN	113
4.10.1.5.	CONDUCCIONES	114
4.10.2.	ESQUEMA DE CÁLCULO	114
4.10.3.	RESULTADOS.....	116
4.10.3.1.	PERÍODO DE CONTROL: COMPARACIÓN ENTRE LOS RESULTADOS OBTENIDOS A PARTIR DE DIFERENTES PROYECCIONES Y DE DATOS OBSERVADOS.....	116
4.10.3.2.	EVOLUCIÓN DEL RECURSO DISPONIBLE CON RESPECTO AL PERÍODO DE CONTROL PARA LAS DISTINTAS PROYECCIONES.....	117
4.11.	<i>DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DEL GALICIA COSTA</i>	119
4.11.1.	ELEMENTOS QUE INTEGRAN EL SISTEMA.....	119
4.11.1.1.	APORTACIONES	120
4.11.1.2.	DEMANDAS.....	121
4.11.1.3.	CAUDALES MÍNIMOS.....	121
4.11.1.4.	ELEMENTOS DE REGULACIÓN	121



4.11.1.5. CONDUCCIONES	122
4.11.2. ESQUEMA DE CÁLCULO	122
4.11.3. RESULTADOS	124
4.11.3.1. PERÍODO DE CONTROL: COMPARACIÓN ENTRE LOS RESULTADOS OBTENIDOS A PARTIR DE DIFERENTES PROYECCIONES Y DE DATOS OBSERVADOS.	124
4.11.3.2. EVOLUCIÓN DEL RECURSO DISPONIBLE CON RESPECTO AL PERÍODO DE CONTROL PARA LAS DISTINTAS PROYECCIONES.....	125
<i>4.12. DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DEL TINTO, ODIEL Y PIEDRAS.....</i>	<i>127</i>
4.12.1. ELEMENTOS QUE INTEGRAN EL SISTEMA	127
4.12.1.1. APORTACIONES	127
4.12.1.2. DEMANDAS	128
4.12.1.3. CAUDALES MÍNIMOS.....	129
4.12.1.4. ELEMENTOS DE REGULACIÓN.....	129
4.12.1.5. CONDUCCIONES	129
4.12.2. ESQUEMA DE CÁLCULO.....	129
4.12.3. RESULTADOS	131
4.12.3.1. PERÍODO DE CONTROL: COMPARACIÓN ENTRE LOS RESULTADOS OBTENIDOS A PARTIR DE DIFERENTES PROYECCIONES Y DE DATOS OBSERVADOS.	131
4.12.3.2. EVOLUCIÓN DEL RECURSO DISPONIBLE CON RESPECTO AL PERÍODO DE CONTROL PARA LAS DISTINTAS PROYECCIONES.....	132
<i>4.13. DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA GUADALETE-BARBATE.....</i>	<i>134</i>
4.13.1. ELEMENTOS QUE INTEGRAN EL SISTEMA	134
4.13.1.1. APORTACIONES	134
4.13.1.2. DEMANDAS	136
4.13.1.3. CAUDALES MÍNIMOS.....	136
4.13.1.4. ELEMENTOS DE REGULACIÓN.....	136
4.13.1.5. CONDUCCIONES	136
4.13.2. ESQUEMA DE CÁLCULO	137
4.13.3. RESULTADOS	138
4.13.3.1. PERÍODO DE CONTROL: COMPARACIÓN ENTRE LOS RESULTADOS OBTENIDOS A PARTIR DE DIFERENTES PROYECCIONES Y DE DATOS OBSERVADOS.	138
4.13.3.2. EVOLUCIÓN DEL RECURSO DISPONIBLE CON RESPECTO AL PERÍODO DE CONTROL PARA LAS DISTINTAS PROYECCIONES.....	139
<i>4.14. DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DE LAS CUENCAS MEDITERRÁNEAS ANDALUZAS.....</i>	<i>142</i>
4.14.1. ELEMENTOS QUE INTEGRAN EL SISTEMA	142
4.14.1.1. APORTACIONES	142
4.14.1.2. DEMANDAS	143
4.14.1.3. CAUDALES MÍNIMOS.....	144
4.14.1.4. ELEMENTOS DE REGULACIÓN.....	144
4.14.1.5. CONDUCCIONES	144
4.14.2. ESQUEMA DE CÁLCULO	145
4.14.3. RESULTADOS	146



4.14.3.1. PERÍODO DE CONTROL: COMPARACIÓN ENTRE LOS RESULTADOS OBTENIDOS A PARTIR DE DIFERENTES PROYECCIONES Y DE DATOS OBSERVADOS.....	146
4.14.3.2. EVOLUCIÓN DEL RECURSO DISPONIBLE CON RESPECTO AL PERÍODO DE CONTROL PARA LAS DISTINTAS PROYECCIONES.....	147
4.15. DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DE LAS CUENCAS INTERNAS DE CATALUÑA	150
4.15.1. ELEMENTOS QUE INTEGRAN EL SISTEMA.....	150
4.15.1.1. APORTACIONES	150
4.15.1.2. DEMANDAS.....	152
4.15.1.3. CAUDALES MÍNIMOS.....	153
4.15.1.4. ELEMENTOS DE REGULACIÓN	153
4.15.1.5. CONDUCCIONES	154
4.15.2. ESQUEMA DE CÁLCULO	154
4.15.3. RESULTADOS.....	155
4.15.3.1. PERIODO DE CONTROL: COMPARACIÓN ENTRE LOS RESULTADOS OBTENIDOS A PARTIR DE DIFERENTES PROYECCIONES Y DE DATOS OBSERVADOS.....	155
4.15.3.2. EVOLUCIÓN DEL RECURSO DISPONIBLE CON RESPECTO AL PERÍODO DE CONTROL PARA LAS DISTINTAS PROYECCIONES.....	156
4.15.3.3. EFECTO DE LAS RESTRICCIONES AMBIENTALES	159
5. RESUMEN Y CONCLUSIONES.....	160
5.1. ANÁLISIS EN EL PERÍODO DE CONTROL	163
5.2. EVOLUCIÓN DEL RECURSO DISPONIBLE A LO LARGO DEL TIEMPO.	164
6. EQUIPO REDACTOR DEL ESTUDIO.....	166
7. REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA.....	167
ANEJO 1: RECURSO DISPONIBLE Y SERIES DE APORTACIÓN ANUAL EN RÉGIMEN NATURAL PARA CADA DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA	



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Esquema del sistema unificado de explotación de recursos hídricos elaborado en el Libro Blanco del Agua (Ministerio de Medio Ambiente, 2000).....	3
Figura 2. Número de embalses y volumen almacenado en función de la capacidad de embalse.	8
Figura 3. Embalses considerados en los sistemas de explotación.....	9
Figura 4. Puntos de simulación de aportaciones considerados en cada demarcación hidrográfica.....	12
Figura 5. Esquema simplificado de la demarcación hidrográfica del Miño-Si con demanda distribuida (situación real).....	17
Figura 6. Esquema simplificado de la demarcación hidrográfica del Miño-Sil con demanda concentrada.	18
Figura 7. Demarcación hidrográfica del Cantábrico Occidental.....	31
Figura 8. Series de aportación anual en el periodo de control (1961-1990) en la demarcación hidrográfica del Cantábrico Occidental.	32
Figura 9. Esquema completo de optimización de la demarcación del Cantábrico Occidental. Demanda distribuida	34
Figura 10. Esquema completo de optimización de la demarcación del Cantábrico Occidental. Demanda concentrada	35
Figura 11. Desviación de las estimaciones de la aportación anual media y el recurso disponible de los diferentes modelos climáticos respecto a los datos observados en la demarcación hidrográfica del Cantábrico Occidental.....	36
Figura 12. Evolución de la variación del recurso disponible (%) de P2 a P4 respecto al periodo de control (P1) en la demarcación hidrográfica del Cantábrico Occidental.....	38
Figura 13. Demarcación hidrográfica del Cantábrico Oriental	39
Figura 14. Series de aportación anual en el periodo de control (1961-1990) en la demarcación hidrográfica del Cantábrico Oriental.....	39
Figura 15. Esquema completo de optimización de la demarcación del Cantábrico Oriental. Demanda distribuida.....	42
Figura 16. Esquema simplificado de optimización de la demarcación del Cantábrico Oriental. Demanda concentrada	42
Figura 17. Desviación de las estimaciones de la aportación anual media y el recurso disponible de los diferentes modelos climáticos respecto a los datos observados en la demarcación hidrográfica del Cantábrico Oriental.....	43
Figura 18. Evolución de la variación del recurso disponible (%) de P2 a P4 respecto al periodo de control (P1) en la demarcación hidrográfica del Cantábrico Oriental.....	45
Figura 19. Variación del recurso disponible en el periodo de control debido a restricciones ambientales en la demarcación hidrográfica del Cantábrico Oriental.....	46
Figura 20. Demarcación hidrográfica del Miño-Sil.....	47
Figura 21. Series de aportación anual en el periodo de control (1961-1990) en la demarcación hidrográfica del Miño-Sil.....	48
Figura 22. Esquema completo de optimización de la demarcación del Miño-Sil. Demanda distribuida.....	50
Figura 23. Esquema simplificado de optimización de la demarcación del Miño-Sil. Demanda concentrada	51
Figura 24. Desviación de las estimaciones de la aportación anual media y el recurso disponible de los diferentes modelos climáticos respecto a los datos observados en la demarcación hidrográfica del Miño-Sil.....	52
Figura 25. Evolución de la variación del recurso disponible (%) de P2 a P4 respecto al periodo de control (P1) en la demarcación hidrográfica del Miño-Sil.....	54
Figura 26. Variación del recurso disponible en el periodo de control debido a restricciones ambientales en la demarcación hidrográfica del Miño-Sil.....	55



Figura 27. Demarcación hidrográfica del Duero.....	56
Figura 28. Series de aportación anual en el periodo de control (1961-1990) en la demarcación hidrográfica del Duero	57
Figura 29. Esquema completo de optimización de la demarcación del Duero. Demanda distribuida	60
Figura 30. Esquema simplificado de optimización de la demarcación del Duero. Demanda concentrada	61
Figura 31. Desviación de las estimaciones de la aportación anual media y el recurso disponible de los diferentes modelos climáticos respecto a los datos observados en la demarcación hidrográfica del Duero. .	62
Figura 32. Evolución de la variación del recurso disponible (%) de P2 a P4 respecto al periodo de control (P1) en la demarcación hidrográfica del Duero.	64
Figura 33. Variación del recurso disponible en el periodo de control debido a restricciones ambientales en la demarcación hidrográfica del Duero.	65
Figura 34. Demarcación hidrográfica del Tajo.....	66
Figura 35. Series de aportación anual en el periodo de control (1961-1990) en la demarcación hidrográfica del Tajo.	67
Figura 36. Esquema completo de optimización de la demarcación del Tajo. Demanda distribuida	70
Figura 37. Esquema simplificado de optimización de la demarcación del Tajo. Demanda concentrada	70
Figura 38. Desviación de las estimaciones de la aportación anual media y el recurso disponible de los diferentes modelos climáticos respecto a los datos observados en la demarcación hidrográfica del Tajo.....	71
Figura 39. . Evolución de la variación del recurso disponible (%) de P2 a P4 respecto al periodo de control (P1) en la demarcación hidrográfica del Tajo.	73
Figura 40. Demarcación hidrográfica del Guadiana.....	74
Figura 41. Series de aportación anual en el periodo de control (1961-1990) en la demarcación hidrográfica del Guadiana	75
Figura 42. Esquema completo de optimización de la demarcación del Guadiana. Demanda distribuida	78
Figura 43. Esquema simplificado de optimización de la demarcación del Segura. Demanda concentrada.....	79
Figura 44. Desviación de las estimaciones de la aportación anual media y el recurso disponible de los diferentes modelos climáticos respecto a los datos observados en la demarcación hidrográfica del Guadiana	80
Figura 45. Evolución de la variación del recurso disponible (%) de P2 a P4 respecto al periodo de control (P1) en la demarcación hidrográfica del Guadiana	82
Figura 46. Demarcación hidrográfica del Guadalquivir.	83
Figura 47. Series de aportación anual en el periodo de control (1961-1990) en la demarcación hidrográfica del Guadalquivir.....	84
Figura 48. Esquema completo de optimización de la demarcación del Guadalquivir. Demanda distribuida.....	88
Figura 49. Esquema simplificado de optimización de la demarcación del Guadalquivir. Demanda concentrada. 88	
Figura 50. Desviación de las estimaciones de la aportación anual media y el recurso disponible de los diferentes modelos climáticos respecto a los datos observados en la demarcación hidrográfica del Guadalquivir.....	89
Figura 51. Evolución de la variación del recurso disponible (%) de P2 a P4 respecto al periodo de control (P1) en la demarcación hidrográfica del Guadalquivir,	91
Figura 52. Variación del recurso disponible en el periodo de control debido a restricciones ambientales en la demarcación hidrográfica del Guadalquivir,	92
Figura 53. Demarcación hidrográfica del Segura	93
Figura 54. Series de aportación anual en el periodo de control (1961-1990) en la demarcación hidrográfica del Segura.....	94
Figura 55. Esquema completo de optimización de la demarcación del Segura. Demanda distribuida	97
Figura 56. Esquema simplificado de optimización de la demarcación del Segura. Demanda concentrada.....	98



Figura 57. Desviación de las estimaciones de la aportación anual media y el recurso disponible de los diferentes modelos climáticos respecto a los datos observados en la demarcación hidrográfica del Segura 99	
Figura 58. Evolución de la variación del recurso disponible (%) de P2 a P4 respecto al periodo de control (P1) en la demarcación hidrográfica del Segura	101
Figura 59. Demarcación hidrográfica del Júcar	103
Figura 60. Series de aportación anual en el periodo de control (1961-1990) en la demarcación hidrográfica del Júcar.	104
Figura 61. Esquema completo de optimización de la demarcación del Júcar. Demanda distribuida	106
Figura 62. Esquema simplificado de optimización de la demarcación del Júcar. Demanda concentrada	107
Figura 63. Desviación de las estimaciones de la aportación anual media y el recurso disponible de los diferentes modelos climáticos respecto a los datos observados en la demarcación hidrográfica del Júcar.	108
Figura 64. Evolución de la variación del recurso disponible (%) de P2 a P4 respecto al periodo de control (P1) en la demarcación hidrográfica del Júcar.	110
Figura 65. Demarcación hidrográfica del Ebro	111
Figura 66. Series de aportación anual en el periodo de control (1961-1990) en la demarcación hidrográfica del Ebro.....	112
Figura 67. Esquema completo de optimización de la demarcación del Ebro. Demanda distribuida	115
Figura 68. Esquema simplificado de optimización de la demarcación del Ebro. Demanda concentrada.....	116
Figura 69. Desviación de las estimaciones de la aportación anual media y el recurso disponible de los diferentes modelos climáticos respecto a los datos observados en la demarcación hidrográfica del Ebro. .	117
Figura 70. Evolución de la variación del recurso disponible (%) de P2 a P4 respecto al periodo de control (P1) en la demarcación hidrográfica del Ebro.....	119
Figura 71. Demarcación hidrográfica del Galicia Costa	120
Figura 72. Series de aportación anual en el periodo de control (1961-1990) en la demarcación hidrográfica del Galicia Costa.....	121
Figura 73. Esquema completo de optimización de la demarcación de Galicia Costa. Demanda distribuida.	123
Figura 74. Esquema simplificado de optimización de la demarcación de Galicia Costa. Demanda concentrada	123
Figura 75. Desviación de las estimaciones de la aportación anual media y el recurso disponible de los diferentes modelos climáticos respecto a los datos observados en la demarcación hidrográfica del Galicia Costa.....	124
Figura 76. Evolución de la variación del recurso disponible (%) de P2 a P4 respecto al periodo de control (P1) en la demarcación hidrográfica del Galicia Costa.....	126
Figura 77. Demarcación hidrográfica del Tinto, Odiel y Piedras.....	127
Figura 78. Series de aportación anual en el periodo de control (1961-1990) en la demarcación hidrográfica del Tinto, Odiel y Piedras.	128
Figura 79. Esquema completo de optimización de la demarcación del Tinto, Odiel y Piedras. Demanda distribuida.	130
Figura 80. Esquema simplificado de optimización de la demarcación del Tinto, Odiel y Piedras. Demanda concentrada.....	130
Figura 81. Desviación de las estimaciones de la aportación anual media y el recurso disponible de los diferentes modelos climáticos respecto a los datos observados en la demarcación hidrográfica del Tinto, Odiel y Piedras	131
Figura 82. Evolución de la variación del recurso disponible (%) de P2 a P4 respecto al periodo de control (P1) en la demarcación hidrográfica del Tinto, Odiel y Piedras.....	133
Figura 83. Demarcación hidrográfica Guadalete-Barbate.....	134
Figura 84. Series de aportación anual en el periodo de control (1961-1990) en la demarcación hidrográfica Guadalete Barbate.....	135



Figura 85. Esquema completo de optimización de la demarcación Guadalete-Barbate. Demanda distribuida ..	137
Figura 86. Esquema simplificado de optimización de la demarcación Guadalete-Barbate. Demanda concentrada	138
Figura 87. Desviación de las estimaciones de la aportación anual media y el recurso disponible de los diferentes modelos climáticos respecto a los datos observados en la demarcación hidrográfica Guadalete-Barbate.....	139
Figura 88. Evolución de la variación del recurso disponible (%) de P2 a P4 respecto al periodo de control (P1) en la demarcación hidrográfica Guadalete-Barbate	141
Figura 89. Demarcación hidrográfica de las Cuencas Mediterráneas Andaluzas.....	142
Figura 90. Series de aportación anual en el periodo de control (1961-1990) en la demarcación hidrográfica de las Cuencas Mediterráneas Andaluzas	143
Figura 91. Esquema completo de optimización de la demarcación de las Cuencas Mediterráneas Andaluzas. Demanda distribuida.....	145
Figura 92. Esquema simplificado de optimización de la demarcación de las Cuencas Mediterráneas Andaluzas. Demanda concentrada	146
Figura 93. Desviación de las estimaciones de la aportación anual media y el recurso disponible de los diferentes modelos climáticos respecto a los datos observados en la demarcación hidrográfica de las Cuencas Mediterráneas Andaluzas.....	147
Figura 94. Evolución de la variación del recurso disponible (%) de P2 a P4 respecto al periodo de control (P1) en la demarcación hidrográfica de las Cuencas Mediterráneas Andaluzas	149
Figura 95. Demarcación hidrográfica de las Cuencas Internas de Cataluña.....	151
Figura 96. Series de aportación anual en el periodo de control (1961-1990) en la demarcación hidrográfica de las Cuencas Internas de Cataluña.....	152
Figura 97. Esquema completo de optimización de la demarcación de las Cuencas Internas de Cataluña. Demanda distribuida.....	154
Figura 98. Esquema simplificado de optimización de la demarcación de las Cuencas Internas de Cataluña. Demanda concentrada	155
Figura 99. Desviación de las estimaciones de la aportación anual media y el recurso disponible de los diferentes modelos climáticos respecto a los datos observados en la demarcación hidrográfica de las Cuencas Internas de Cataluña.	156
Figura 100. Evolución de la variación del recurso disponible (%) de P2 a P4 respecto al periodo de control (P1) en la demarcación hidrográfica de las Cuencas Internas de Cataluña.	158
Figura 101. Variación del recurso disponible en el periodo de control debido a restricciones ambientales en la demarcación hidrográfica de las Cuencas Internas de Cataluña.	159



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Proyecciones climáticas para las que se han calculado las series mensuales de aportación en régimen natural a incluir en el sistema de explotación de cada demarcación.	14
Tabla 2. Modulación anual de las demandas consideradas en el análisis.	15
Tabla 3. Comparación de la evolución del RD con demanda distribuida y demanda concentrada. Demarcación hidrográfica del Miño-Sil.	19
Tabla 4. Combinaciones a analizar en cada demarcación para la determinación del recurso disponible para cada escenario de emisiones (en P1 sólo se considera un escenario).	30
Tabla 5. Embalses de la demarcación hidrográfica del Cantábrico Occidental. Distribución del volumen máximo mensual (hm^3/mes).....	33
Tabla 6. Capacidad máxima de las conducciones consideradas en la demarcación del Cantábrico Occidental. .	34
Tabla 7. Variación del recurso disponible (%) para demanda uniforme en cada periodo respecto al periodo de control en la demarcación hidrográfica del Cantábrico Occidental.	37
Tabla 8. Variación del recurso disponible (%) para demanda variable en cada periodo respecto al periodo de control en la demarcación hidrográfica del Cantábrico Occidental.	37
Tabla 9. Distribución de caudales mínimos considerados (m^3/s) en la demarcación hidrográfica del Cantábrico Oriental en las Cuencas Internas del País Vasco,.....	41
Tabla 10. Embalses de la demarcación hidrográfica del Cantábrico Oriental, Distribución del volumen máximo mensual (hm^3/mes).....	41
Tabla 11. Capacidad máxima de las conducciones consideradas en la demarcación del Cantábrico Oriental, ...	41
Tabla 12. Variación del recurso disponible (%) para demanda uniforme en cada periodo respecto al periodo de control en la demarcación hidrográfica del Cantábrico Oriental.	44
Tabla 13. Variación del recurso disponible (%) para demanda variable en cada periodo respecto al periodo de control en la demarcación hidrográfica del Cantábrico Oriental.	44
Tabla 14. Distribución de caudales mínimos considerados (m^3/s) en la demarcación hidrográfica de L. Miño-Sil.	49
Tabla 15. Embalses de la demarcación hidrográfica del Miño-Sil. Distribución del volumen máximo mensual (hm^3/mes).	50
Tabla 16. Capacidad máxima de las conducciones consideradas en la demarcación del Miño-Sil.	50
Tabla 17. Variación del recurso disponible (%) para demanda uniforme en cada periodo respecto al periodo de control en la demarcación hidrográfica del Miño-Sil.	53
Tabla 18. Variación del recurso disponible (%) para demanda variable en cada periodo respecto al periodo de control en la demarcación hidrográfica del Miño-Sil.	53
Tabla 19. Distribución de caudales mínimos considerados (m^3/s) en la demarcación hidrográfica del Duero.....	58
Tabla 20. Embalses de la demarcación hidrográfica del Duero. Distribución del volumen máximo mensual (hm^3/mes).	59
Tabla 21. Capacidad máxima de las conducciones consideradas en la demarcación del Duero.	60
Tabla 22. Variación del recurso disponible (%) para demanda uniforme en cada periodo respecto al periodo de control en la demarcación hidrográfica del Duero.	63
Tabla 23. Variación del recurso disponible (%) para demanda variable en cada periodo respecto al periodo de control en la demarcación hidrográfica del Duero.	63
Tabla 24. Embalses de la demarcación hidrográfica del Tajo. Distribución del volumen máximo mensual (hm^3/mes).	68



Tabla 25. Capacidad máxima de las conducciones consideradas en la demarcación del Tajo.	69
Tabla 26. . Variación del recurso disponible (%) para demanda uniforme en cada periodo respecto al período de control en la demarcación hidrográfica del Tajo.	72
Tabla 27. . Variación del recurso disponible (%) para demanda variable en cada periodo respecto al período de control en la demarcación hidrográfica del Tajo.	72
Tabla 28. Embalses de la demarcación hidrográfica del Guadiana. Distribución del volumen máximo mensual (hm ³ /mes).....	77
Tabla 29. Capacidad máxima de las conducciones consideradas en la demarcación del Guadiana.....	77
Tabla 30. Variación del recurso disponible (%) para demanda uniforme en cada periodo respecto al período de control en la demarcación hidrográfica del Guadiana.....	81
Tabla 31. Variación del recurso disponible (%) para demanda variable en cada periodo respecto al período de control en la demarcación hidrográfica del Guadiana.....	81
Tabla 32. Distribución de caudales mínimos considerados (m ³ /s) en la demarcación hidrográfica del Guadalquivir,	85
Tabla 33. Embalses de la demarcación hidrográfica del Guadalquivir. Distribución del volumen máximo mensual (hm ³ /mes).....	87
Tabla 34. Capacidad máxima de las conducciones consideradas en la demarcación del Guadalquivir.	87
Tabla 35. Variación del recurso disponible (%) para demanda uniforme en cada periodo respecto al período de control en la demarcación hidrográfica del Guadalquivir.	90
Tabla 36. Variación del recurso disponible (%) para demanda variable en cada periodo respecto al período de control en la demarcación hidrográfica del Guadalquivir.	90
Tabla 37. Embalses de la demarcación hidrográfica del Segura. Distribución del volumen máximo mensual (hm ³ /mes).....	95
Tabla 38. Capacidad máxima de las conducciones consideradas en la demarcación del Segura.....	96
Tabla 39. Variación del recurso disponible (%) para demanda uniforme en cada periodo respecto al período de control en la demarcación hidrográfica del Segura.....	100
Tabla 40. Variación del recurso disponible (%) para demanda variable en cada periodo respecto al período de control en la demarcación hidrográfica del Segura.....	100
Tabla 41. Embalses de la demarcación hidrográfica del Júcar. Distribución del volumen máximo mensual (hm ³ /mes).....	105
Tabla 42. Capacidad máxima de las conducciones consideradas en la demarcación del Júcar.....	106
Tabla 43. Variación del recurso disponible (%) para demanda uniforme en cada periodo respecto al período de control en la demarcación hidrográfica del Júcar.....	109
Tabla 44. Variación del recurso disponible (%) para demanda variable en cada periodo respecto al período de control en la demarcación hidrográfica del Júcar.....	109
Tabla 45. Embalses de la demarcación hidrográfica del Ebro. Distribución del volumen máximo mensual (hm ³ /mes).....	113
Tabla 46. Capacidad máxima de las conducciones consideradas en la demarcación del Ebro.....	114
Tabla 47. Variación del recurso disponible (%) para demanda uniforme en cada periodo respecto al período de control en la demarcación hidrográfica del Ebro.....	118
Tabla 48. Variación del recurso disponible (%) para demanda variable en cada periodo respecto al período de control en la demarcación hidrográfica del Ebro.....	118
Tabla 49. Embalses de la demarcación hidrográfica del Galicia Costa. Distribución del volumen máximo mensual (hm ³ /mes).....	122
Tabla 50. Capacidad máxima de las conducciones consideradas en la demarcación del Galicia Costa.....	122
Tabla 51. Variación del recurso disponible (%) para demanda uniforme en cada periodo respecto al período de control en la demarcación hidrográfica del Galicia Costa.....	125



Tabla 52. Variación del recurso disponible (%) para demanda variable en cada periodo respecto al período de control en la demarcación hidrográfica del Galicia Costa.....	125
Tabla 53. Embalses de la demarcación hidrográfica del Tinto, Odiel y Piedras. Distribución del volumen máximo mensual (hm^3/mes).....	129
Tabla 54. Capacidad máxima de las conducciones consideradas en la demarcación del Tinto, Odiel y Piedras.	129
Tabla 55. Variación del recurso disponible (%) para demanda uniforme en cada periodo respecto al período de control en la demarcación hidrográfica del Tinto, Odiel y Piedras.....	132
Tabla 56. Variación del recurso disponible (%) para demanda variable en cada periodo respecto al período de control en la demarcación hidrográfica del Tinto, Odiel y Piedras.....	132
Tabla 57. Embalses de la demarcación hidrográfica Guadalete-Barbate. Distribución del volumen máximo mensual (hm^3/mes).	136
Tabla 58. Capacidad máxima de las conducciones consideradas en la demarcación Guadalete-Barbate.	137
Tabla 59. Variación del recurso disponible (%) para demanda uniforme en cada periodo respecto al período de control en la demarcación hidrográfica Guadalete-Barbate.	140
Tabla 60. Variación del recurso disponible (%) para demanda variable en cada periodo respecto al período de control en la demarcación hidrográfica Guadalete-Barbate.	140
Tabla 61. Embalses de la demarcación hidrográfica de las Cuencas Mediterráneas Andaluzas. Distribución del volumen máximo mensual (hm^3/mes).....	144
Tabla 62. Capacidad máxima de las conducciones consideradas en la demarcación de las Cuencas Mediterráneas Andaluzas.	145
Tabla 63. Variación del recurso disponible (%) para demanda uniforme en cada periodo respecto al período de control en la demarcación hidrográfica de las Cuencas Mediterráneas Andaluzas.....	148
Tabla 64. Variación del recurso disponible (%) para demanda variable en cada periodo respecto al período de control en la demarcación hidrográfica de las Cuencas Mediterráneas Andaluzas.....	148
Tabla 65. Distribución de caudales mínimos considerados (m^3/s) en la demarcación hidrográfica de las Cuencas Internas de Cataluña.	153
Tabla 66. Embalses de la demarcación hidrográfica de las Cuencas Internas de Cataluña. Distribución del volumen máximo mensual (hm^3/mes).....	153
Tabla 67. Capacidad máxima de las conducciones consideradas en la demarcación de las Cuencas Internas de Cataluña.....	154
Tabla 68. Variación del recurso disponible (%) para demanda uniforme en cada periodo respecto al período de control en la demarcación hidrográfica de las Cuencas Internas de Cataluña.	157
Tabla 69. Variación del recurso disponible (%) para demanda variable en cada periodo respecto al período de control en la demarcación hidrográfica de las Cuencas Internas de Cataluña.	157
Tabla 70. Variación del recurso disponible (%) por demarcación hidrográfica y de toda España en los diferentes periodos de estudio respecto al periodo de control 1961-1990. Demanda uniforme (verde >0%; amarillo 0% a -20%; rojo < -20%).....	161
Tabla 71. Variación del recurso disponible (%) por demarcación hidrográfica y de toda España en los diferentes periodos de estudio respecto al periodo de control 1961-1990. Demanda variable (verde >0%; amarillo 0% a -20%; rojo < -20%).....	162



RESUMEN EJECUTIVO

INTRODUCCIÓN

1. Con fecha 23 de abril de 2007 fue suscrito entre el Ministerio de Medio Ambiente y el CEDEX el Acuerdo de encomienda de gestión para el estudio de los impactos del cambio climático en los recursos hídricos y las masas de agua. Dicho Acuerdo fue publicado en el BOE de 11 de agosto de 2007 por Resolución de 3 de agosto de 2007 de la Subsecretaría de Presidencia. Dentro de la encomienda se contemplan cuatro actividades: el análisis de los efectos del cambio climático sobre los recursos en régimen natural, sobre las demandas, sobre los recursos disponibles en los sistemas de explotación y sobre el estado ecológico de las masas de agua. El presente trabajo se centra en la tercera de las actividades anteriores: el análisis de los efectos del cambio climático sobre el recurso disponible en los sistemas de explotación.
2. El recurso disponible en un sistema de explotación puede asimilarse a la máxima demanda de agua que se puede satisfacer en dicho sistema una vez cumplidas las restricciones previas. El concepto de recurso disponible está asociado al tipo de demanda (modulación intraanual) y al criterio de garantía empleado. Se trata de dar un paso más allá de la evaluación del recurso natural, cuantificando la repercusión del cambio climático sobre el agua que se puede utilizar. El recurso disponible es un indicador teórico, que no pretende reflejar una situación real, sino identificar las posibilidades máximas de aprovechamiento en cada sistema para una configuración de infraestructuras y una serie de aportaciones naturales dadas. Por tanto, este estudio requiere como datos de entrada las aportaciones en régimen natural afectadas por el cambio climático, obtenidas en la primera actividad de la encomienda.

OBJETIVO Y ÁMBITO

3. El objetivo del trabajo es determinar la evolución del recurso disponible superficial en tres períodos futuros 2011-2040, 2041-2070 y 2071-2100 respecto al período de control para dos escenarios de emisiones, A2 y B2, definidos en los informes del Grupo intergubernamental de expertos sobre el cambio climático (IPCC). De manera muy simplificada, el primero corresponde a no adoptar medidas de control de emisiones, mientras que el segundo corresponde a un desarrollo más sostenible. Los escenarios, modelos de circulación global y procedimientos de regionalización considerados han sido los establecidos por la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET) para la evaluación de la repercusión del cambio climático sobre los recursos hídricos en régimen natural.
4. El análisis se ha llevado a cabo para cada una de las demarcaciones hidrográficas peninsulares y, a partir de estos resultados, para el conjunto de la España peninsular.

METODOLOGÍA

5. Para la determinación del recurso disponible se ha definido un sistema de explotación para cada demarcación hidrográfica. Este sistema constituye una simplificación que debe permitir reproducir el comportamiento de la demarcación desde el punto de vista de la disponibilidad del recurso. Una vez construido el sistema, la evaluación del recurso disponible se ha desarrollado a partir de un procedimiento de optimización de la gestión de los recursos hídricos.
6. Según el Reglamento de la Planificación Hidrológica (art. 19.2) un sistema de explotación de recursos está constituido por masas de agua superficial y subterránea, obras e instalaciones de infraestructura hidráulica, normas de utilización del agua derivadas de las características de las demandas y reglas de explotación que, aprovechando los recursos



CEDEX

hídricos naturales, y de acuerdo con su calidad, permiten establecer los suministros de agua que configuran la oferta de recursos disponibles del sistema de explotación, cumpliendo los objetivos medioambientales.

7. El análisis de los sistemas de explotación permite integrar los elementos básicos que intervienen en la gestión de recursos hídricos: recursos en régimen natural, restricciones ambientales, demandas e infraestructuras. A continuación se sintetizan los criterios seguidos para la definición de los sistemas de explotación, así como el procedimiento de optimización empleado.

Configuración de los sistemas de explotación

Ríos

8. Con carácter general, se han considerado todas aquellas masas de agua de la categoría ríos con una aportación anual media en el período 1940 – 2005 igual o superior a 50 hm³. Dicha aportación se ha calculado mediante el modelo hidrológico distribuido precipitación escurrentía SIMPA.

Embalses

9. Los criterios de selección se han basado en los utilizados en la evaluación del recurso disponible a nivel nacional efectuada en el Libro blanco del agua en España (MIMAM, 2000), ampliándolos con objeto de mejorar la reproducción del comportamiento del sistema. Tras analizar la relación entre número de embalses, capacidad de almacenamiento y capacidad de regulación, los criterios que se han adoptado han sido los siguientes:
 - Se consideran todos los embalses con capacidad superior a 100 hm³
 - No se consideran embalses con capacidad inferior a 10 hm³, salvo que existan tramos con requerimientos ambientales aguas abajo, analizándose entonces caso a caso.
 - De los embalses cuya capacidad oscila entre 10 hm³ y 100 hm³ solo se consideran aquellos cuya relación entre capacidad y aportación media anual es superior a 0,3.
10. El número de embalses finalmente considerado es de 259, que representan el 92% de la capacidad total nacional, lo que supone un 30% de incremento con respecto a los trabajos del Libro blanco del agua. Se ha prescindido de los que se encontraban en construcción o solo adjudicados.
11. La hipótesis adoptada en cuanto a funcionamiento del embalse es la de libre disposición con independencia del régimen concesional actual. Es decir, se ha supuesto que puede utilizarse con total libertad la capacidad de todos los embalses considerados. Se obtendrá así un valor máximo del recurso disponible. Esta hipótesis obedece a los siguientes motivos: en primer lugar, la incertidumbre en cuanto a la situación concesional en horizontes a tan largo plazo como los manejados en este trabajo (2100); en segundo lugar, si el cambio climático implicara una reducción del recurso disponible para atender las necesidades consuntivas, parece razonable considerar que se liberarían concesiones a favor de los usos prioritarios. Con objeto de lograr la máxima simplificación posible en el esquema, se han agrupado embalses, cuidando siempre de no desdibujar el funcionamiento real del sistema.
12. Es necesario introducir un valor de la tasa de evaporación mensual en cada embalse para estimar las pérdidas por este concepto. Los valores se han obtenido a partir de los mapas de evapotranspiración potencial para cada proyección climática calculados en *Evaluación del impacto del cambio climático en los recursos hídricos en régimen natural* (CEDEX, 2010). Los mapas cubren todo el territorio nacional discretizado en celdas de 500 m de

lado. Cuando se han agrupado varios embalses se ha utilizado el valor correspondiente al de mayor superficie, con objeto de quedar del lado de la seguridad.

Aportaciones

13. Para la definición de los puntos de aportación se ha partido de los trabajos del Libro blanco del agua (MIMAM, 2000) y del *Análisis de los sistemas hidráulicos del Plan Hidrológico Nacional* (MIMAM; 2000). Se han añadido aquellos que eran necesarios como consecuencia de la incorporación de nuevas demandas, infraestructuras o caudales mínimos. Con objeto de no complicar excesivamente el esquema de cada demarcación, salvo en casos singulares, se ha respetado el criterio general de que la aportación anual media acumulada en régimen natural en la intercuenca entre dos puntos de aportación consecutivos sea superior a 50 hm³. Dicha aportación se ha calculado mediante el modelo SIMPA para el período 1940-2005. El número de puntos de aportación considerados en el conjunto de las demarcaciones en los trabajos del Libro blanco del agua fue de 350 aproximadamente, mientras que en el presente estudio es de 514.
14. La serie de aportaciones en cada uno de los puntos considerados se ha obtenido a partir de los mapas de escorrentía natural total acumulada generados en el trabajo *Evaluación del impacto del cambio climático en los recursos hídricos en régimen natural* (CEDEX, 2010) aplicando el modelo precipitación escorrentía SIMPA a las diferentes proyecciones climáticas consideradas. Se dispone de un mapa de aportaciones mensuales para cada proyección climática para todo el territorio nacional. Estos mapas están discretizados en celdas de 500 m de lado. Para obtener en cada punto de aportación la serie mensual correspondiente a cada proyección climática en cada período, se ha diseñado una aplicación sobre SIG que permite extraer los valores de escorrentía natural total acumulada de dichos mapas mensuales en cada punto.
15. La escorrentía total calculada a través del modelo SIMPA engloba la escorrentía superficial directa y la subterránea que acaba aflorando a los cauces. El modelo también estima la recarga que queda almacenada en los acuíferos sin fluir a la red superficial. Esta recarga no se introduce en la simulación del sistema de explotación. Por tanto, en la evaluación del recurso disponible se prescinde de este volumen, que, previa extracción, se podría integrar en el recurso disponible. El recurso disponible que se considera es exclusivamente el correspondiente al sistema superficial. La evolución del recurso disponible asociado al sistema subterráneo coincide con la evolución de la recarga en condiciones naturales, que ya ha sido evaluada en *Evaluación del impacto del cambio climático en los recursos hídricos en régimen natural* (CEDEX, 2010).
16. Además de obtener la serie mensual de aportaciones en cada punto correspondiente a cada proyección climática y período de estudio, también se han obtenido mediante SIMPA las series mensuales correspondientes a las condiciones climáticas observadas para el período de control. Ello permite calcular el recurso disponible de "referencia" en el período de control y analizar las desviaciones de las estimaciones del recurso disponible realizadas con las diferentes proyecciones climáticas en el período de control, contando así con una estimación la incertidumbre de partida del recurso disponible para cada proyección climática.
17. Teniendo en cuenta las combinaciones de escenarios, modelos de circulación global, sistemas de regionalización y períodos, el número total de series de aportación a considerar en cada punto es de 30 (29 correspondientes a proyecciones de cambio climático, que se refleja en la tabla siguiente, y una a los datos observados en el período de control).



Escenario de emisiones	Modelo de circulación global	Regionalización	Período			
			1961-1990 (P1)	2011-2040 (P2)	2041-2070 (P3)	2071-2100 (P4)
A2	CGCM2	Análogos-FIC	SI	SI	SI	SI
	ECHAM4	Análogos-FIC	SI	SI	SI	SI
	HadAM3	Análogos-FIC	SI	NO	NO	SI
	HadCM3	SDSM	SI	SI	SI	SI
	HadCM3	PROMES	SI	NO	NO	SI
	ECHAM4	RCAO y proyecto PRUDENCE	SI	NO	NO	SI
B2	CGCM2	Análogos-FIC	SI	SI	SI	SI
	ECHAM4	Análogos-FIC	SI	SI	SI	SI
	HadAM3	Análogos-FIC	SI	NO	NO	SI
	HadCM3	SDSM	SI	SI	SI	SI
	HadCM3	PROMES	SI	NO	NO	SI
	ECHAM4	RCAO y proyecto PRUDENCE	SI	NO	NO	SI

Tabla 1. Proyecciones climáticas para las que se han calculado las series mensuales de aportación en régimen natural a incluir en el sistema de explotación de cada demarcación (las series de los dos escenarios coinciden en el período de control).

Demandas

18. Se han considerado demandas consuntivas, bien con modulación intraanual constante, asimilable al abastecimiento urbano, o bien con modulación variable. En este último caso, la modulación adoptada resulta del análisis de la demanda de una serie de zonas de regadío representativas a nivel nacional propuesta en el Libro blanco del agua (MIMAM, 2000). Cabe destacar que sólo se ha considerado una modulación para demanda variable. La gama de posibilidades de adaptación de los cultivos y tipo de cultivo a los cambios ambientales es tal, que carece de sentido considerar múltiples modulaciones de demanda diferentes de la actual.
19. Para obtener el recurso disponible es necesario considerar cada tipo de demanda separadamente. Un concepto esencial para la determinación del recurso disponible es el criterio de garantía, que se utiliza para evaluar cuándo está satisfecha una demanda. El criterio es diferente para demanda uniforme o variable. Para demanda uniforme se ha adoptado un criterio de garantía del 100% mensual, es decir, no se admite déficit en ningún mes del período analizado. Es un criterio muy exigente, que permite obtener la máxima cantidad de agua que se puede extraer de un cauce sin interrupción a lo largo de todo el período considerado. Para demanda variable el criterio utilizado ha sido el establecido en la Instrucción de Planificación Hidrológica vigente (Orden ARM/2656/2008) para la demanda de riego, que admite un déficit del 50% de la demanda anual en un año, un déficit del 75% de la demanda anual acumulado en dos años consecutivos y un déficit del 100% de la demanda anual acumulada en 10 años consecutivos. Ambos criterios se han utilizado en



otros estudios anteriores, en particular en el Libro Banco del Agua (Ministerio de Medio Ambiente, 2000), lo que permite comparar resultados.

20. Debido a la enorme complejidad de simulación que supondría estimar el máximo recurso disponible teniendo en cuenta la distribución real de las demandas en el conjunto del sistema, se estudiaron los efectos que podría ocasionar la sustitución de todas las demandas en una sola demanda colocada al final de cada cuenca o subcuenca incluida en el sistema de explotación. Se observó que esta simplificación no afectaba a los resultados sobre evolución del recurso disponible en los periodos futuros respecto al periodo de control. En consecuencia, y atendiendo al objetivo del trabajo, se adoptó la configuración de demandas concentradas al final de la cuenca, o subcuenca, con el fin de agilizar el proceso de cálculo. En el caso de que el tramo de río del final de la cuenca tuviera establecido un caudal ecológico, la demanda se colocó aguas arriba, de manera que ésta se viera afectada por dicha restricción, como sucede en la realidad. Si se trata de una cuenca que vierte a un agua de transición que, de acuerdo con el esquema simplificado, recibe más de una aportación, se colocó una demanda al final de cada una de las subcuencas afluentes para tener en cuenta su aportación en el cálculo del recurso disponible.

Conducciones

21. Se han representado aquellas conducciones artificiales que pueden ser relevantes para la satisfacción de las demandas o de los caudales ecológicos.

Restricciones previas

22. Son aquellas necesidades cuya atención es prioritaria frente a cualquier demanda y, por tanto, constituyen un requerimiento que la gestión del sistema debe asegurar previamente a la satisfacción de cualquier demanda. Pueden ser de dos tipos: geopolíticas y ambientales. Dentro de las primeras se encuentran los acuerdos internacionales establecidos en cuencas transfronterizas. Las ambientales corresponden al régimen de caudales ecológicos.
23. En España, las restricciones geopolíticas significativas afectan a las cuencas compartidas con Portugal, y están reflejadas en el Convenio de Albufeira. En él se regula el régimen de caudales que España debe garantizar en frontera a Portugal siempre que no se trate de circunstancias hidrológicas excepcionales, que están identificadas en dicho convenio. Hay que destacar que el plazo de vigencia establecido en el acuerdo es de 7 años (si bien se prevé su prórroga automática por periodos de tres años salvo que se denuncie por cualquiera de las partes). Debido a que el periodo temporal del estudio (100 años) es muy superior a la vigencia del Convenio (7 años), y a que las circunstancias hidrológicas naturales futuras pueden sufrir cambios importantes tanto en variabilidad como en magnitud respecto a las circunstancias actuales (CEDEX, 2010), se ha decidido no contemplar las restricciones geopolíticas, al no poder contar con una evaluación de las mismas adecuada a cada período de análisis.
24. Por lo que concierne al régimen de caudales ecológicos, la única componente que es aplicable a la escala mensual es el régimen de caudales mínimos. Existen dos tendencias básicas en cuanto a la consideración de los impactos del cambio climático en los ecosistemas fluviales. La primera consiste en considerar el cambio climático como una presión más a tener en cuenta sobre los ecosistemas, los cuales se consideran sistemas invariables a los que hay que proteger, lo que exigiría mantener los caudales mínimos de la situación inicial. La segunda, admite los cambios de los ecosistemas provocados por las nuevas condiciones ambientales que supondrán unas nuevas exigencias en cuanto a régimen de caudales mínimos. Dada la incertidumbre sobre las restricciones ambientales futuras a considerar, se ha optado por no tenerlas en cuenta en el presente estudio en periodos futuros.



25. Únicamente se ha evaluado en el período de control el efecto que produce la implantación del régimen de caudales mínimos sobre el recurso disponible y se ha comparado con el efecto provocado por el cambio climático a largo plazo. En estos casos, se ha exigido para el caudal mínimo la misma garantía mensual que tendría en condiciones naturales, entendiéndose por garantía mensual el porcentaje de meses en que el caudal circulante por un tramo es igual o superior al caudal mínimo de dicho tramo. El cálculo de la garantía del régimen de caudales mínimos en régimen natural se ha obtenido simulando el propio sistema sin tener en cuenta infraestructuras hidráulicas ni demandas. En el presente estudio sólo se han considerado aquellas masas en que la definición del régimen de caudales mínimos se consideró prioritaria por el organismo competente.
26. Este análisis solo se ha podido realizar en aquellas demarcaciones cuyo borrador de plan de cuenca se encontraba en consulta pública (o en una fase posterior del proceso de tramitación) durante la realización de este estudio (1 de mayo de 2011) y se disponía, por tanto, de unos valores propuestos en la normativa de dicho borrador. Son las demarcaciones de: Cantábrico Oriental (en la parte de las Cuencas Internas del País Vasco), Miño-Sil, Duero, Guadalquivir y Cuencas Internas de Cataluña.

Modelo de optimización

27. Para realizar los balances que permiten determinar el recurso disponible en el sistema de explotación de cada demarcación se ha utilizado el modelo OPTIGES, desarrollado por la Universidad Politécnica de Valencia e integrado en el entorno AQUATOOLDMA. Es un modelo de optimización de la gestión de un sistema de recursos hídricos. Esto supone que el modelo selecciona la gestión óptima, entendiéndose por tal aquella que minimiza la suma ponderada de déficit de caudales ecológicos, déficit de demandas y maximiza el volumen almacenado en embalses al final de cada período de optimización, de acuerdo con unos coeficientes de ponderación definidos por el usuario.

Cálculo del recurso disponible

28. El cálculo del recurso disponible es un proceso iterativo de incremento de la demanda hídrica, donde se comprueba en cada paso si se cumplen los criterios de garantía definidos para los caudales mínimos y las demandas. Cada iteración consiste en una ejecución del modelo OPTIGES. El resultado final se alcanza cuando se obtiene la máxima demanda cumpliendo las garantías exigidas.
29. El cálculo del recurso disponible para cada proyección debe realizarse tanto en los períodos futuros como en el de control. El resultado del estudio es la evolución del recurso disponible desde el año 2011 hasta el año 2100 respecto al período de control. Para ello, en cada demarcación ha sido necesario estimar el recurso disponible en 60 escenarios diferentes, 30 para cada uno de los dos tipos de demanda. Hay que añadir, sin embargo, 2 escenarios más por demarcación, que son los correspondientes a los datos climáticos observados. Además, en las demarcaciones en las que se ha evaluado el efecto de las restricciones ambientales sobre el recurso disponible, ha sido necesario estudiar 18 situaciones más en el período de control: seis simulaciones en régimen natural sin infraestructura ni demanda alguna para calcular la garantía mensual de los caudales mínimos, seis simulaciones con demanda uniforme y seis con variable. En definitiva, puesto que existen 15 demarcaciones hidrográficas peninsulares y se dispone de información sobre caudales ecológicos en cinco de ellas, ha sido necesario evaluar 1.020 combinaciones diferentes. Hay que tener en cuenta que, como se mencionó antes, el resultado para cada uno de ellas se ha obtenido a partir de un procedimiento iterativo de incrementos de demanda, lo que pone de manifiesto la complejidad del estudio en términos de simulación.



RESULTADOS

30. En las tablas siguientes figura la variación (%) del recurso disponible con respecto al período de control calculado para cada demarcación, proyección climática, período y modulación de demanda, así como una media por demarcación, proyección y período. Se han incluido también las cifras equivalentes para el conjunto de la España peninsular.



EFFECTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LOS RECURSOS HÍDRICOS DISPONIBLES EN LOS SISTEMAS DE EXPLOTACIÓN

CEDEX

		Escenario de Emisiones A2						Escenario de Emisiones B2							
		CGCM2-FIC	ECHAM4--FIC	HadAM3-FIC	HadCM3-SDSM	HadCM3-PROMES	ECHAM4-RCAO	Media	CGCM2-FIC	ECHAM4--FIC	HadAM3-FIC	HadCM3-SDSM	HadCM3-PROMES	ECHAM4-RCAO	Media
España	2011-2040	-13	-28		-7			-16	-10	-26		-28			-21
	2041-2070	-12	-36		-20			-23	-11	-30		-16			-19
	2071-2100	-25	-40	-13	-39	-38	-46	-34	-9	-33	-20	-7	-29	-20	-20
Cantábrico Oriental	2011-2040	-8	-24		-21			-18	-6	-16		-24			-15
	2041-2070	-11	-34		-33			-26	-12	-33		-40			-28
	2071-2100	-16	-50	2	-59	-41	-56	-37	-1	-39	-1	-37	-27	-33	-23
Cantábrico Occidental	2011-2040	-19	-35		-26			-27	-5	-25		-25			-18
	2041-2070	-20	-38		-33			-30	-20	-36		-34			-30
	2071-2100	-20	-48	-10	-48	-47	-40	-36	-10	-42	-14	-33	-32	-23	-26
Galicia-Costa	2011-2040	-10	-30		-11			-17	-2	-10		-25			-12
	2041-2070	-14	-37		-21			-24	-6	-34		-22			-21
	2071-2100	-21	-42	-13	-29	-50	-27	-30	-7	-40	-18	-24	-11	-11	-19
Miño-Sil	2011-2040	-8	-29		5			-11	-2	-5		-16			-8
	2041-2070	-11	-28		-11			-17	-13	-37		-9			-20
	2071-2100	-17	-34	-17	-20	-35	-34	-26	-8	-33	-23	-7	0	-10	-14
Duero	2011-2040	-15	-22		-13			-17	-9	-27		-41			-26
	2041-2070	-10	-37		-19			-22	-11	-30		-21			-21
	2071-2100	-28	-37	-11	-34	-36	-51	-33	-9	-34	-28	2	-37	-27	-22
Tajo	2011-2040	-16	-31		-1			-16	-17	-45		-36			-33
	2041-2070	-13	-50		-13			-25	-11	-25		-5			-14
	2071-2100	-34	-48	-7	-39	-38	-50	-36	-15	-37	-25	10	-53	-7	-21
Guadiana	2011-2040	-23	-35		12			-15	-16	-40		0			-19
	2041-2070	-19	-58		-32			-36	-16	-23		-14			-18
	2071-2100	-45	-54	-15	-53	-40	-51	-43	-17	-41	-23	5	-41	-11	-21
Guadalquivir	2011-2040	-16	-36		-4			-19	-13	-48		-26			-29
	2041-2070	-7	-55		-34			-32	-5	-36		-18			-20
	2071-2100	-37	-62	-26	-52	-41	-56	-46	-8	-44	-34	-5	-40	-22	-26
Tinto, Odiel Y Piedras	2011-2040	-10	-41		23			-9	-14	-61		-39			-38
	2041-2070	-8	-65		-25			-33	-12	-44		-16			-24
	2071-2100	-51	-65	-39	-59	-35	-43	-49	-18	-46	-48	4	-54	-43	-34
Guadalete - Barbate	2011-2040	-20	-35		2			-18	-16	-41		9			-16
	2041-2070	-12	-56		-41			-36	-10	-35		-20			-22
	2071-2100	-46	-62	-33	-58	-45	-64	-51	-10	-42	-38	-12	-46	-26	-29
Cuencas Mediterráneas	2011-2040	-4	-26		-9			-13	-12	-33		-28			-24
	2041-2070	-13	-41		-36			-30	-4	-31		-23			-19
	2071-2100	-29	-47	-33	-59	-32	-48	-41	-14	-31	-30	-27	-23	-15	-23
Segura	2011-2040	-12	-29		-5			-15	-28	-31		-30			-30
	2041-2070	-11	-44		-26			-27	-12	-32		-17			-20
	2071-2100	-25	-54	-19	-45	-47	-42	-39	-14	-38	-26	-11	-20	-24	-22
Júcar	2011-2040	-3	-16		-5			-8	-21	-26		-29			-25
	2041-2070	-11	-32		-20			-21	-12	-24		-15			-17
	2071-2100	-25	-33	-2	-48	-42	-48	-33	-12	-26	-16	-12	-29	-18	-19
Ebro	2011-2040	-11	-27		-12			-17	-8	-25		-32			-22
	2041-2070	-14	-27		-19			-20	-9	-26		-16			-17
	2071-2100	-19	-31	-15	-43	-38	-46	-32	-6	-26	-15	-12	-23	-24	-18
Cuencas Internas de Cataluña	2011-2040	5	-1		-7			-1	-9	-8		-26			-14
	2041-2070	-5	-11		-15			-10	-5	1		-5			-3
	2071-2100	-9	-7	14	-31	-35	-43	-19	-13	8	6	-10	-30	-8	-8

Tabla 2. Variación del recurso disponible (%) por demarcación hidrográfica y de toda España en los diferentes periodos de estudio respecto al periodo de control 1961-1990. Demanda uniforme (verde>0%; amarillo 0% a -20%; rojo < -20%).

		Escenario de Emisiones A2						Escenario de Emisiones B2							
		CGCM2-FIC	ECHAM4-FIC	HadAM3-FIC	HadCM3-SDSM	HadCM3-PROMES	ECHAM4-RCAO	Media	CGCM2-FIC	ECHAM4-FIC	HadAM3-FIC	HadCM3-SDSM	HadCM3-PROMES	ECHAM4-RCAO	Media
España	2011-2040	-10	-20		-5			-12	-11	-24		-8			-14
	2041-2070	-11	-32		-19			-21	-12	-25		-16			-18
	2071-2100	-25	-35	-10	-38	-30	-41	-30	-7	-28	-16	-8	-30	-19	-18
Cantábrico Oriental	2011-2040	-11	-11		-22			-15	-7	-8		-20			-12
	2041-2070	-11	-25		-38			-25	-13	-23		-35			-24
	2071-2100	-17	-40	-20	-57	-47	-56	-40	-5	-27	-10	-35	-40	-34	-25
Cantábrico Occidental	2011-2040	-15	-23		-25			-21	-10	-13		-15			-13
	2041-2070	-23	-30		-32			-28	-19	-26		-29			-25
	2071-2100	-23	-40	-20	-48	-36	-37	-34	-13	-31	-6	-34	-33	-24	-24
Galicia-Costa	2011-2040	-3	-18		-11			-11	-1	-10		-11			-7
	2041-2070	-11	-26		-12			-16	-9	-20		-14			-14
	2071-2100	-19	-32	-7	-23	-42	-33	-26	-8	-25	-15	-13	-20	-12	-16
Miño-Sil	2011-2040	-4	-19		-9			-11	-3	-12		-9			-8
	2041-2070	-8	-24		-12			-15	-10	-24		-11			-15
	2071-2100	-17	-29	-6	-21	-25	-23	-20	-7	-23	-14	-9	-18	-11	-14
Duero	2011-2040	-9	-23		-5			-12	-9	-29		-10			-16
	2041-2070	-13	-37		-19			-23	-16	-34		-17			-22
	2071-2100	-25	-37	-7	-34	-27	-45	-29	-7	-33	-21	-4	-29	-22	-19
Tajo	2011-2040	-12	-28		10			-10	-14	-42		-17			-24
	2041-2070	-10	-50		-13			-24	-12	-27		-9			-16
	2071-2100	-31	-48	-2	-40	-28	-51	-33	-4	-38	-22	13	-49	-7	-18
Guadiana	2011-2040	-25	-33		10			-16	-18	-40		23			-12
	2041-2070	-17	-58		-29			-35	-13	-22		-16			-17
	2071-2100	-46	-56	-16	-54	-43	-51	-44	-14	-44	-26	3	-34	-11	-21
Guadalquivir	2011-2040	-26	-29		-4			-20	-19	-42		9			-17
	2041-2070	-13	-52		-32			-32	-15	-33		-18			-22
	2071-2100	-41	-60	-23	-51	-41	-55	-45	-14	-42	-29	-6	-32	-24	-25
Tinto, Odiel Y Piedras	2011-2040	-14	-43		24			-11	-10	-64		-9			-28
	2041-2070	-11	-69		-26			-35	-10	-44		-10			-21
	2071-2100	-55	-67	-34	-58	-38	-52	-51	-19	-53	-49	9	-53	-44	-35
Guadalete - Barbate	2011-2040	-25	-34		2			-19	-23	-42		22			-14
	2041-2070	-17	-58		-38			-38	-11	-37		-20			-23
	2071-2100	-47	-65	-33	-55	-45	-69	-52	-11	-44	-37	-9	-44	-29	-29
Cuencas Mediterráneas Andaluzas	2011-2040	-4	-20		-10			-11	-13	-30		-11			-18
	2041-2070	-6	-39		-34			-26	-7	-28		-24			-20
	2071-2100	-32	-45	-31	-57	-33	-52	-42	-11	-29	-30	-29	-23	-17	-23
Segura	2011-2040	-15	-27		-3			-15	-29	-29		-8			-22
	2041-2070	-14	-45		-23			-27	-15	-33		-18			-22
	2071-2100	-28	-54	-19	-44	-50	-41	-39	-14	-37	-27	-9	-19	-24	-22
Júcar	2011-2040	-6	-13		-4			-8	-22	-25		-10			-19
	2041-2070	-10	-30		-20			-20	-12	-22		-17			-17
	2071-2100	-26	-33	-3	-48	-46	-50	-34	-12	-25	-19	-12	-34	-21	-21
Ebro	2011-2040	-7	-13		-12			-11	-8	-14		-9			-10
	2041-2070	-11	-18		-18			-16	-12	-21		-17			-17
	2071-2100	-17	-21	-12	-40	-26	-37	-26	-5	-18	-10	-17	-23	-22	-16
Cuencas Internas de Cataluña	2011-2040	6	18		-8			5	-7	7		-10			-3
	2041-2070	-3	18		-16			0	-2	15		-13			0
	2071-2100	-9	27	-3	-29	-38	-54	-18	-2	18	-7	-14	-43	-26	-12

Tabla 3. Variación del recurso disponible (%) por demarcación hidrográfica y de toda España en los diferentes periodos de estudio respecto al periodo de control 1961-1990. Demanda variable (verde>0%; amarillo 0% a -20%; rojo < -20%).



CONCLUSIONES

Período de control

31. Se observan desviaciones importantes entre las estimaciones de la aportación anual en régimen natural de la demarcación obtenidas con las diferentes proyecciones climáticas y también entre éstas y las obtenidas con datos climáticos observados. En general, se aprecia una subestimación de la aportación anual obtenida con datos climáticos simulados respecto a la obtenida con datos observados. Tan solo en las demarcaciones del Miño-Sil y de Galicia Costa se invierte significativamente esta tendencia, de manera significativa que aportación anual media con el modelo CGCM2-FIC es del orden del 20% superior a la simulada a partir de datos observados. La variabilidad interanual de las series de aportación anual de las diferentes proyecciones climáticas también difiere sustancialmente entre sí, así como con respecto a la de la serie obtenida a partir de datos climáticos observados. La incertidumbre observada en la estimación del recurso en régimen natural en el periodo de control se traslada al cálculo del recurso disponible.
32. Si bien el comportamiento es diferente de una demarcación a otra, con frecuencia, las proyecciones de los modelos ECHAM4-RCAO y las HadAM3-FIC son las que presentan las mayores desviaciones en cuanto a aportación anual media de la demarcación en régimen natural y en cuanto a recurso disponible en el período de control frente a los valores simulados a partir de los datos observados.
33. El análisis de la repercusión de la implantación de caudales mínimos se ha limitado a cinco demarcaciones en función de la información disponible. Con las simplificaciones adoptadas, los únicos casos en los que se puede tener una aproximación al efecto que supone la implantación del régimen de caudales mínimos sobre el recurso disponible son el Miño-Sil y las Cuencas Internas de Cataluña, pues existe un tramo con caudal mínimo inmediatamente aguas abajo de la demanda concentrada. La simplificación de concentrar la demanda al final de la cuenca puede implicar una sobrevaloración de la reducción del recurso disponible debida a la implantación de los caudales mínimos. La reducción de recurso disponible que supone su consideración en el período de control oscila entre el 20% y el 50%, dependiendo de la proyección, en el Miño-Sil, y entre el 30% y el 50% en las Cuencas Internas de Cataluña. La variación del recurso disponible calculada como consecuencia del cambio climático entre 2011 y 2100 oscila entre +5% y -35% para el Miño-Sil y +8% y -43% para las Cuencas Internas de Cataluña.

Evolución del recurso disponible a lo largo del tiempo

34. Se considera que, si bien del examen de las tablas anteriores parece deducirse que existe una tendencia generalizada a la reducción del recurso disponible, esta conclusión debe ser muy matizada. Ello es debido, además de a las incertidumbres detectadas en el análisis del período de control, a la dispersión de los resultados de variación del recurso disponible respecto al período de control obtenidos para una misma demarcación, escenario, período y modulación de demanda, en función del modelo de circulación global o del procedimiento de regionalización. Como se observa en las tablas anteriores las diferencias son sustanciales. En consecuencia, se considera que los valores medios no son representativos y que la disparidad de los resultados obliga a reconsiderar los datos de partida, dificultando la obtención de cualquier tipo de conclusiones. En función de todo lo anterior parece razonable dedicar mayores esfuerzos a seleccionar los modelos y procedimientos de regionalización que conduzcan a resultados más fiables y realizar los análisis sólo con ellos, acotando el número de proyecciones a considerar.
35. No pueden establecerse patrones de comportamiento de validez general para todas las demarcaciones. En la mayoría de ellas, la evolución del recurso disponible a lo largo del tiempo en un mismo escenario climático no es sensible a la modulación de la demanda. Sin



embargo, en cinco demarcaciones (Cantábrico Occidental, Cantábrico Oriental, Miño-Sil, Galicia Costa y Cuencas Internas de Cataluña) sí existe un comportamiento diferente en función de la demanda, siendo en general más desfavorable la demanda uniforme. El motivo puede ser la mayor exigencia de garantía de las demandas, la diferencia en la distribución de los valores mínimos de las series de aportaciones y el grado de regulación de la cuenca.

36. En el escenario A2, para una misma demarcación, en general se observa un incremento de la reducción del recurso disponible frente al período de control a medida que se avanza en el tiempo, si bien el gradiente de la reducción es variable según la proyección y la demarcación. En cambio, en el escenario B2, para una misma demarcación, en general hay disparidad de tendencias según la proyección. Cabe destacar que en este escenario en la proyección HadCM3-SDSM, el recurso disponible con frecuencia tiende a aumentar a largo plazo. Es decir, si bien se suele producir una reducción creciente del recurso disponible en los períodos 2011-2040 y 2041-2070 frente al período de control, en el período 2071-2100 el recurso disponible se reduce menos que en los dos anteriores respecto al de control o incluso aumenta ligeramente con respecto al de control.
37. En general hay una coincidencia en todas las demarcaciones en que a largo plazo el escenario B2 es más favorable que el A2; es decir, la reducción del recurso disponible con respecto al período de control tanto con demanda uniforme como variable a largo plazo es mayor en el escenario A2 que en el B2. Sin embargo, a corto plazo hay disparidad de resultados según la proyección y la demarcación, siendo con frecuencia peor el resultado en el escenario B2 que en el A2. Este resultado avalaría la eficacia de las medidas adoptadas en el escenario B2 a largo plazo.
38. Por último, en algunas demarcaciones existen proyecciones en las que la aportación anual media en régimen natural y el recurso disponible respecto varían respecto al período de control de manera aparentemente anómala. Así, para una aportación anual media igual o incluso mayor que la del período de control, el recurso disponible se reduce frente a dicho período o viceversa. En la mayor parte de estos casos, la explicación preliminar es que la aportación anual mínima en el período con resultados anómalos es menor que la correspondiente al período de control, y esto es determinante puesto que el recurso disponible está condicionado tanto por los valores mínimos de la serie como por su sucesión temporal. En cambio, la aportación media está muy influida por los valores extremos de la serie. Un aumento en el valor medio de las aportaciones, debido a un incremento de los valores más elevados no se traducirá necesariamente en un aumento del recurso disponible, puesto que como se ha indicado, está condicionado por los valores mínimos de la serie de aportaciones.



1. INTRODUCCIÓN

Con fecha 23 de abril de 2007 fue suscrito entre el Ministerio de Medio Ambiente y el CEDEX un Acuerdo de encomienda de gestión para el estudio de los impactos del cambio climático en los recursos hídricos y las masas de agua. Dicho Acuerdo de encomienda fue publicado en el BOE de 11 de agosto de 2007 por Resolución de 3 de agosto de 2007 de la Subsecretaría de Presidencia. Dentro de dicha encomienda se contemplan cuatro actividades: el análisis de los efectos del cambio climático sobre los recursos en régimen natural, sobre las demandas, sobre los recursos disponibles en los sistemas de explotación y sobre el estado ecológico de las masas de agua.

El presente trabajo se centra en la tercera de las actividades anteriores: el análisis de los efectos del cambio climático sobre el recurso disponible en los sistemas de explotación. El análisis de los sistemas de explotación permite integrar los elementos básicos que intervienen en la gestión de recursos hídricos: recursos en régimen natural, restricciones ambientales, demandas e infraestructuras. Por tanto, es evidente que esta actividad de la encomienda requiere la ejecución previa de otras. Como se verá, toma como dato la afección del cambio climático sobre los recursos en régimen natural, ya evaluada en la primera de las actividades de la encomienda. Por tanto, los datos de partida son los mismos que en la actividad 1, tal como se indica en el apartado correspondiente a aportaciones, lo que asegura la coherencia con las actividades previas. Cabe señalar que, dentro de las infraestructuras hidráulicas, la información básica relativa a conducciones ya ha sido objeto de un informe técnico emitido en enero de 2009 como avance dentro de la actividad de análisis del efecto del cambio climático sobre los recursos disponibles. El título de dicho informe fue *Actualización del sistema unificado de explotación de recursos hídricos. Conducciones*.

La escala de trabajo adoptada ha sido la de demarcación hidrográfica, definiéndose un sistema de explotación simplificado para cada una de ellas.

El recurso disponible (RD) en un sistema de explotación puede asimilarse a la máxima demanda de agua que se puede satisfacer en dicho sistema. Por tanto, el concepto de recurso disponible está asociado al tipo de demanda (modulación intraanual uniforme o variable) y al criterio de garantía empleado para evaluar cuándo se considera adecuadamente satisfecha. Se trata, por tanto, de dar un paso más allá del recurso natural, evaluando la repercusión del cambio climático sobre el agua que realmente se puede utilizar. Debe hacerse notar que este concepto es sustancialmente diferente, y menor en magnitud, al de recurso natural, pues no todo éste puede utilizarse para la satisfacción de demandas.

En definitiva, el objetivo del presente trabajo es determinar la evolución del recurso disponible con respecto al período de control (1960-1990) como consecuencia del cambio climático en cada una de las demarcaciones hidrográficas y, por tanto, a nivel nacional. Para dar una idea de la envergadura del trabajo, cabe destacar que para cada demarcación hidrográfica ha sido necesario considerar, según los casos, un mínimo de 62 combinaciones y un máximo de 80. Las combinaciones resultan de la consideración de seis modelos de circulación global, dos escenarios de emisiones, cuatro períodos, dos tipos de demanda y, en su caso, inclusión de las restricciones ambientales. A su vez, la obtención del recurso disponible correspondiente a cada combinación en cada demarcación ha requerido un procedimiento de optimización iterativo de optimización sobre el sistema de explotación definido para cada demarcación.

El presente informe se estructura en una primera parte de carácter general en la que se reflejan los antecedentes en materia de evaluación del recurso disponible a nivel nacional, así



como de la consideración de la afección del cambio climático sobre él. A continuación se expone la metodología y los criterios aplicados para la definición del sistema de explotación representativo de las demarcaciones hidrográficas, considerando en detalle cada uno de los elementos que lo integran y señalando en cada caso la información relativa a cada uno de ellos que debe incluirse en el sistema para poder aplicar el procedimiento de optimización; se expone igualmente el procedimiento de cálculo empleado para la determinación del recurso disponible, las simplificaciones introducidas y las limitaciones asociadas, imprescindibles en un trabajo de alcance nacional con gran diversidad de escenarios.

Una vez expuesta la metodología y criterios generales, se presenta el análisis efectuado para cada una de las demarcaciones hidrográficas, exponiendo los resultados y conclusiones obtenidas en cada una. Por último se incluye un apartado con los resultados y conclusiones fundamentales aplicables a nivel nacional. En el Anejo se incluyen los gráficos que permiten comparar para cada proyección climática el recurso disponible con la serie anual de aportaciones en régimen natural para cada demarcación hidrográfica.

2. ANTECEDENTES

A continuación se recogen los principales antecedentes en España relativos tanto a la evaluación del recurso disponible a nivel nacional como a la consideración del efecto del cambio climático sobre el recurso disponible. Conviene reflejar también como antecedente relevante utilizado en el presente trabajo para la definición de los esquemas de los sistemas de explotación de cada cuenca, la documentación generada en el proceso de planificación hidrológica que se encuentra actualmente muy avanzado y que concluirá con la aprobación del plan hidrológico correspondiente a cada una de las demarcaciones hidrográficas.

El antecedente más inmediato, en el que se apoya el presente trabajo en cuanto a la obtención de los datos hidrológicos necesarios para la determinación del recurso disponible, es el Análisis de los efectos del cambio climático sobre los recursos en régimen natural (CEDEX, 2010).

2.1. EVALUACIÓN DEL RECURSO DISPONIBLE A NIVEL NACIONAL

Se han realizado balances hídricos a nivel nacional en diferentes ocasiones desde 1967. En todos ellos se parte en cada cuenca de un sistema de explotación (modelo) en el que se introducen unos recursos en régimen natural, se considera la infraestructura hidráulica existente y se calcula la máxima demanda que se puede satisfacer asociada a un criterio de garantía y a una modulación intraanual. Los resultados son relativamente dispares, lo cual no es sorprendente teniendo en cuenta que se han empleado diferentes series de recursos en régimen natural (cuya longitud viene condicionada por la fecha de la evaluación y su magnitud y variabilidad por el procedimiento utilizado para su obtención), distintas modulaciones de demanda, criterios de garantía y restricciones ambientales. A nivel nacional no existen grandes diferencias; sin embargo éstas se acentúan cuando se desciende al ámbito de cada plan hidrológico. Una recopilación sistemática de las mismas puede encontrarse en el Libro blanco del agua en España (MIMAM, 2000).

Por ser el antecedente más inmediato, cabe destacar la evaluación realizada mediante el Sistema unificado de explotación de recursos hídricos a nivel nacional. Dicha evaluación se realizó en el marco de la elaboración del Libro blanco del agua en España (2000) y requirió elaborar un modelo a nivel nacional. La serie de recursos en régimen natural utilizada comprende el período 1940/41-1995/96. Asimismo se reflejaron en el modelo las infraestructuras hidráulicas significativas (regulación y transporte) a nivel nacional. En la figura siguiente se refleja el Sistema unificado, que engloba el sistema de cada una de las

demarcaciones hidrográficas. Este sistema integraba los definidos en cada uno de los planes hidrológicos de cuenca entonces vigentes, aprobados por RD1664/1998 de 24 de julio. El primer paso del presente trabajo ha consistido en la actualización de este Sistema, de acuerdo con los criterios que se expondrán en el apartado de metodología. El proceso para la actualización de las conducciones de transporte de agua ha quedado reflejado en el informe emitido como avance en enero de 2009 titulado Actualización del Sistema Unificado de explotación de recursos hídricos.

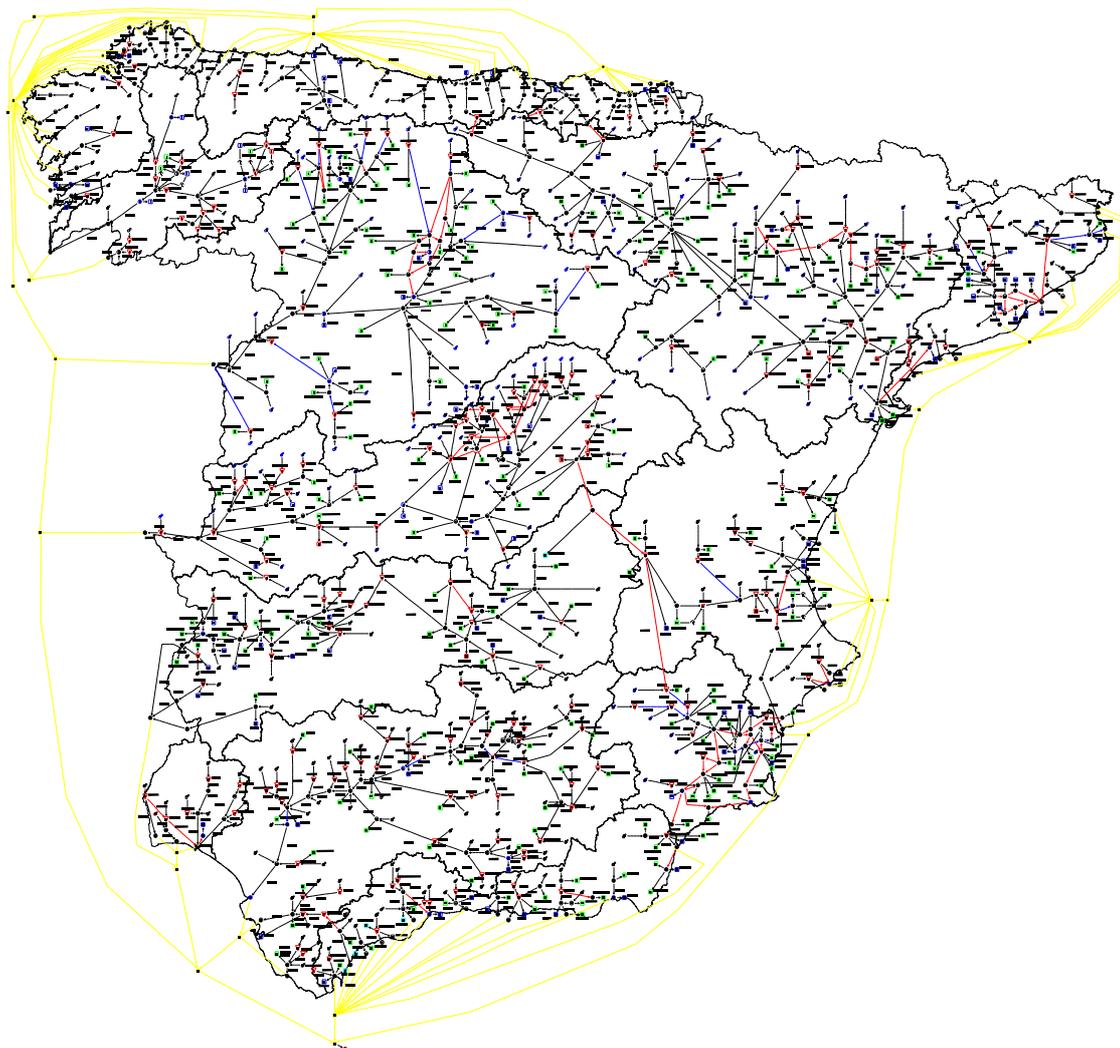


Figura 1. Esquema del sistema unificado de explotación de recursos hídricos elaborado en el Libro Blanco del Agua (Ministerio de Medio Ambiente, 2000)

Los criterios utilizados para la definición del esquema anterior se resumen a continuación.

Para seleccionar los embalses en el estudio reflejado en el Libro blanco del agua se aplicó lo siguiente:

- Se consideraron todos los embalses con capacidad superior a 200 hm³



- No se consideraron embalses con capacidad inferior a 10 hm^3
- No se consideraron embalses cuyo desembalse medio anual fuese inferior a $10 \text{ hm}^3/\text{año}$
- De los embalses cuya capacidad estuviera entre 10 hm^3 y 200 hm^3 solo se consideraron aquellos cuya relación entre capacidad y desembalse anual era superior a 0,3.

Cuando no se dispuso de datos más precisos, se supuso un volumen útil para regulación del 95% de la capacidad total del embalse, reservando el 5% para resguardo y volumen muerto. Además se adoptó la hipótesis de libre utilización de todos los embalses considerados, prescindiendo de las limitaciones concesionales existentes en la realidad.

En cuanto a las demandas, para la demanda uniforme se consideró una modulación constante a lo largo del año, un criterio de garantía del 100% y se prescindió de los retornos. Para la demanda variable se utilizó una distribución representativa de la demanda de riego a nivel nacional, un criterio de garantía con déficit admisibles del 50% en un año, 75% en dos años consecutivos y 100% en diez años consecutivos e introduciendo retornos del 20% de la demanda atendida. La modulación de la demanda variable es la misma indicada en el apartado correspondiente de metodología de este informe.

A su vez, la demanda se consideró distribuida a lo largo de la demarcación hidrográfica, asociando una demanda a cada nudo del sistema y calculando el valor máximo que puede alcanzar en cada nudo una vez maximizadas las demandas en los nudos de aguas arriba. El recurso disponible en la demarcación es la suma de la máxima demanda asociada a cada nudo.

Los caudales mínimos considerados fueron los definidos en los planes de cuenca entonces vigentes.

Es importante resaltar que en cada una de las evaluaciones anteriores, la serie de recursos en régimen natural es única y corresponde a un solo período de análisis. En cambio, la evaluación de la repercusión del cambio climático sobre el recurso disponible exige considerar para cada sistema de explotación un total de 31 series de recursos en régimen natural derivadas, como se detalla en el apartado de metodología del presente informe dedicado a aportaciones, de la combinación de modelos de circulación global, sistemas de regionalización, escenarios de emisiones y períodos a considerar. Es evidente la diferencia de volumen de información a manejar y del número de simulaciones a efectuar entre las evaluaciones anteriores y la actual, por lo que es clara la necesidad de plantear simplificaciones que permitan abordar el trabajo.

2.2. EVALUACIÓN DE LA AFECCIÓN DEL CAMBIO CLIMÁTICO SOBRE EL RECURSO DISPONIBLE

En cuanto a los antecedentes de la evaluación de la repercusión del cambio climático sobre el recurso disponible a nivel nacional, cabe destacar una evaluación llevada a cabo en 1999 (Garrote et al, 1999). En ella se partía de una reducción de la aportación natural obtenida en los trabajos del Libro blanco del agua en España (MIMAM, 2000). La reducción de la aportación natural correspondía a la horquilla resultante de dos hipótesis frente a la situación de referencia: un incremento de temperatura de 1°C exclusivamente o bien suponerlo acompañado de una reducción del 5% en la precipitación. La caracterización de embalses, conducciones y demandas era la misma considerada en el Sistema unificado de explotación de recursos al que se ha hecho referencia en el apartado anterior. El resultado para la primera hipótesis era una reducción del recurso disponible en torno al 4%, mientras que en el segundo ascendía hasta el 11%. Posteriormente (Rodríguez, I.C., 2004), se realizó un análisis similar con los resultados de aportaciones derivados de la proyección HadCM2-PROMES.



Conviene señalar también una tarea similar realizada en el marco de los trabajos técnicos que daban soporte a la Ley del Plan Hidrológico Nacional aprobada en 2001, reflejados en la Documentación técnica de dicho Plan (MIMAM, 2000). En ella se evaluó la afección del cambio climático sobre los sistemas de explotación en las cuencas consideradas como posibles cedentes, Duero, Tajo y Ebro, en las transferencias que se estudiaron. Así, para la hipótesis de máximo desarrollo contemplada en sus planes hidrológicos, se simuló con el esquema de toda la cuenca, el efecto de una reducción de las aportaciones naturales del 5% y del 10% con objeto de conocer su repercusión sobre los sobrantes derivables, concluyéndose que no era significativa en absoluto. Los porcentajes de reducción de la aportación natural indicados se basaban en los resultados obtenidos en los trabajos del Libro Blanco del Agua señalados en el párrafo precedente.

Al igual que ya se ha señalado anteriormente cabe destacar la relativa simplicidad de cálculo. Se trata de efectuar tres simulaciones correspondientes a la situación de referencia y a las dos hipótesis planteadas para una situación de demanda constante en los tres casos.

En esta misma línea, la Instrucción de Planificación Hidrológica (IPH) actualmente vigente establece la obligación de considerar en los balances a largo plazo (año 2027) que se incluyan en la revisión de los planes hidrológicos de cuenca, actualmente muy avanzada, la afección del cambio climático sobre los recursos en régimen natural. Es decir, obliga a introducir el efecto de la modificación de los recursos naturales en el sistema de explotación con objeto de evaluar la tendencia en cuanto a grado de satisfacción de las demandas y restricciones ambientales previstas en los planes. Dicha Instrucción solo es de obligada aplicación en las demarcaciones con cuencas hidrográficas intercomunitarias.

Cabe reseñar también los análisis realizados por la Agencia Catalana del Agua (ACA, 2009) sobre la repercusión del cambio climático en el recurso disponible en las cuencas del Ter y del Llobregat, que son las principales del ámbito de las Cuencas Internas de Cataluña. Para ello, una vez definido el sistema de explotación de las cuencas del Ter y del Llobregat, para representar los cambios que podrían acontecer en el futuro, se han modificado las series históricas del periodo 1940-2002 de manera artificial para intentar reproducir los cambios previstos que podrían acontecer en torno a los años 2030-2040: reducción de las aportaciones medias del 5% e incremento de la desviación estándar de las aportaciones mensuales en un 10%. Se trata de un patrón de cambio teórico, elaborado con el objetivo de realizar una primera cuantificación de unos fenómenos en los que existe una gran incertidumbre de predicción y de los que apenas se empiezan a conocer de manera cualitativa. Para comparar la vulnerabilidad del sistema, se escogió un parámetro denominado *capacidad de servicio*, que es la demanda anual máxima que, de acuerdo con la serie de aportaciones, el sistema puede abastecer de manera constante, cumpliendo el criterio de garantía y de forma compatible con los requisitos ambientales. En el sistema Ter-Llobregat se determinó que la capacidad de servicio con la serie modificada se reducía un 15% (7% atribuida a la reducción de las aportaciones y 8% al incremento de variabilidad de la serie) respecto a la correspondiente a la serie histórica.

Por último, existen diversas tesis doctorales en las que se ha analizado la repercusión del cambio climático sobre las aportaciones, las demandas y la garantía en la satisfacción de las demandas en ámbitos tales como la cuenca del Júcar (Hernández Barrios, 2007) o la cuenca del Ebro (De Lama, 2011). En general, en ellas, entre otros aspectos, se considera una distribución de demandas y se analiza cómo afecta el cambio climático a su garantía de satisfacción.



3. METODOLOGÍA

En este apartado se detalla el procedimiento seguido para la determinación del recurso disponible en cada demarcación hidrográfica. La clave es la definición de un sistema de explotación simplificado mediante el cual se pueda reproducir la gestión de recursos hídricos en ella, de manera que se puedan evaluar las máximas demandas que pueden satisfacerse, es decir, el recurso disponible. Por ello, los dos primeros epígrafes se dedican al sistema de explotación, exponiendo primero su definición conceptual para pasar después a detallar las consideraciones esenciales que se han tenido en cuenta para cada uno de sus elementos y la información de la que es necesario disponer para poder aplicar el procedimiento de optimización que permite determinar el recurso disponible. Por último, se expone muy brevemente el procedimiento de optimización utilizado para calcular el recurso disponible, así como la forma de presentación de los resultados obtenidos sobre la evolución del recurso disponible a lo largo de los distintos períodos que integran cada proyección climática. Los períodos considerados, de acuerdo con lo establecido en el documento Generación de escenarios regionalizados de cambio climático para España (AEMET; 2008), son el período de control 1961-1990 (en adelante P1); 2011-2040 (en adelante P2), 2041-2070 (en adelante P3) y 2071-2100 (en adelante P4).

3.1. CONCEPTO DE SISTEMA DE EXPLOTACIÓN

El Reglamento de la Planificación Hidrológica indica que *un sistema de explotación de recursos está constituido por masas de agua superficial y subterránea, obras e instalaciones de infraestructura hidráulica, normas de utilización del agua derivadas de las características de las demandas y reglas de explotación que, aprovechando los recursos hídricos naturales, y de acuerdo con su calidad, permiten establecer los suministros de agua que configuran la oferta de recursos disponibles del sistema de explotación, cumpliendo los objetivos medioambientales* (Reglamento de la Planificación Hidrológica, art 19.2).

Conviene insistir en que debido a que se trata de un estudio de ámbito nacional, el sistema de explotación asociado a cada demarcación debe ser necesariamente simplificado, pues de otra manera no sería factible ni el cálculo ni la interpretación de los resultados. La obligación de disponer de *un sistema de explotación único en el que de forma simplificada, queden incluidos todos los sistemas parciales y con el que se posibilite el análisis global de comportamiento en toda la demarcación hidrográfica* se establece en el Reglamento antes citado (art 19.4).

A continuación se describe la forma en la que se ha considerado cada uno de los elementos que integran el sistema en el presente trabajo.

3.2. ELEMENTOS QUE INTEGRAN EL SISTEMA DE EXPLOTACIÓN

3.2.1. MASAS DE AGUA

En el sistema sólo se han considerado masas de agua superficial, de manera que el recurso disponible corresponderá al sistema superficial exclusivamente. Tal como se detalla en el apartado de aportaciones, el modelo de simulación precipitación escorrentía permite obtener tanto la escorrentía superficial total, es decir, incluyendo la fracción que se infiltra y acaba aflorando nuevamente a los cauces, como una estimación de la recarga de los acuíferos considerados. El recurso disponible asociado a estas masas de agua subterránea es el valor de la recarga, que ya ha sido evaluado en el trabajo *Análisis de los efectos del cambio climático sobre los recursos en régimen natural* (CEDEX, 2010).



Se está suponiendo, por tanto, que las masas de agua subterránea se encuentran en equilibrio, de manera que las extracciones son iguales a la recarga y no se tienen en cuenta en la definición del sistema de explotación.

3.2.1.1. RÍOS

Con carácter general, en el modelo se han considerado todas aquellas masas de agua de la categoría ríos que tuviesen una aportación anual media en el período 1940 – 2005 igual o superior a 50 hm³. Dicha aportación se ha evaluado mediante el modelo hidrológico distribuido SIMPA, cuya descripción puede encontrarse en el informe Efectos del cambio climático en los recursos en régimen natural (CEDEX, 2010).

Este criterio de selección puede suponer que en demarcaciones con longitud de costa importante se prescindiera de pequeños cauces costeros. Debido tanto a la reducida cuantía de su aportación como a la irregularidad que suele caracterizarlos, no son relevantes en cuanto a recurso disponible. No obstante, en algunos casos en los que pudieran serlo por ser derivadas sus aportaciones a un embalse con capacidad de regulación sí se han tenido en cuenta, indicándose entonces en el apartado dedicado a la demarcación correspondiente (por ejemplo las derivaciones hacia el embalse de La Viñuela desde La Cueva, Solano, Seco y Alcaucín en las Cuencas Mediterráneas Andaluzas).

La misma situación se puede dar en algunas demarcaciones internacionales, algunos de cuyos cauces atraviesa la frontera sin alcanzar la aportación indicada. La suma de las aportaciones de todos ellos puede ser relativamente importante, aunque irrelevante en el conjunto y en cualquier caso sin trascendencia práctica en el recurso disponible al no estar asignados a demanda significativa alguna.

Las circunstancias señaladas pueden motivar que si se compara la aportación media anual en régimen natural de todo el territorio de la demarcación y la correspondiente al total de cauces efectivamente considerados en el sistema de explotación la diferencia sea apreciable en términos absolutos, aunque no en términos relativos y desde luego, irrelevante a efectos del recurso disponible, como se ha indicado.

3.2.1.2. EMBALSES

Los embalses son elementos concebidos fundamentalmente, aunque no de forma exclusiva, para la transformación del recurso natural en recurso disponible mediante la regulación. Por ello, debe incluirse en el sistema cualquier embalse que se considere que puede tener un efecto relevante. De cada uno de ellos debe conocerse su capacidad máxima y mínima mensual, es decir, el volumen útil para regulación en cada mes, la curva volumen-superficie y la tasa de evaporación mensual, con objeto de calcular las pérdidas por evaporación a escala mensual.

Por otra parte, considerando que a nivel nacional existen más de 1300 presas, es evidente la necesidad de definir algún criterio de selección para determinar cuáles se incluyen en el sistema de explotación.

La mayor parte de los embalses considerados han sido clasificados como masa de agua río muy modificado o masas de agua artificiales asimilables a lagos en la elaboración de los planes hidrológicos de cuenca.

Se ha partido de los criterios utilizados en la evaluación del recurso disponible a nivel nacional efectuada en el Libro Blanco del Agua (2000) mencionada en los Antecedentes, ampliándolos con objeto de mejorar la reproducción del comportamiento del sistema. Tras analizar la relación



entre número de embalses, capacidad de almacenamiento y capacidad de regulación, los criterios que se han adoptado para considerar un embalse han sido los siguientes:

- Se consideran todos los embalses con capacidad superior a 100 hm^3
- No se consideran embalses con capacidad inferior a 10 hm^3
- De los embalses cuya capacidad oscila entre 10 hm^3 y 100 hm^3 solo se consideran aquellos cuya relación entre capacidad y aportación media anual es superior a 0,3.

En algunos casos se han considerado embalses con capacidad inferior a 10 hm^3 . Casi siempre ha sido debido a la existencia de tramos con caudal mínimo aguas abajo de ellos, de manera que la inclusión del embalse era necesaria para evaluar el cumplimiento de este caudal mínimo considerado como restricción previa. El análisis realizado se resume en las dos figuras siguientes.

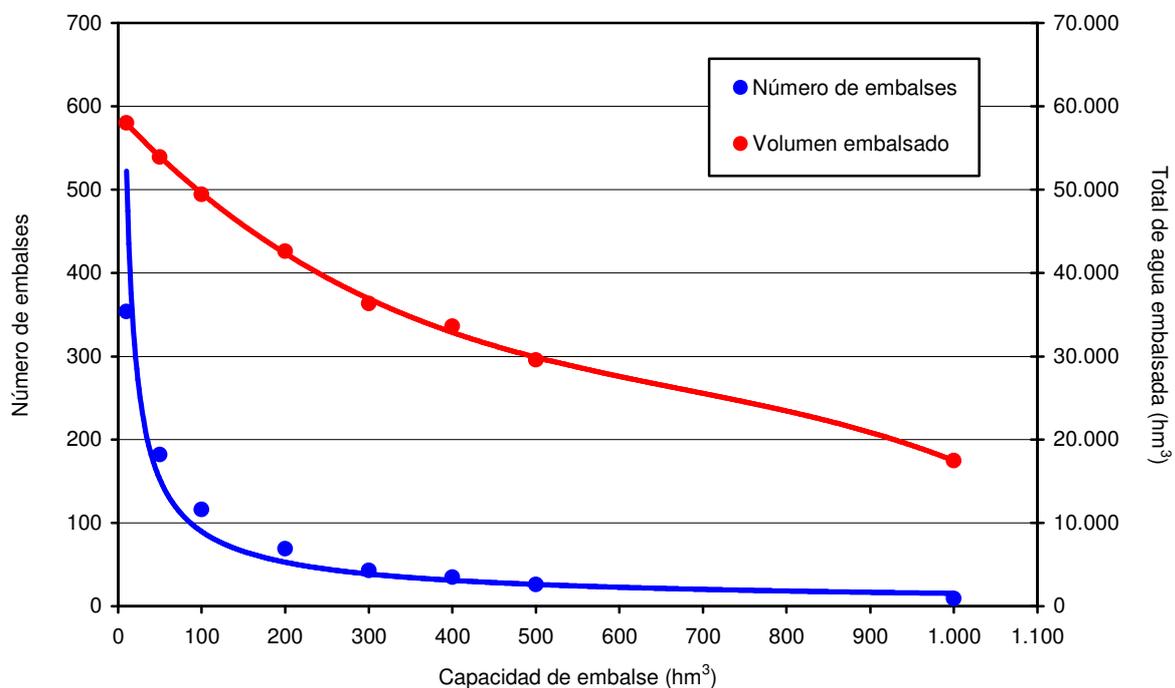


Figura 2. Número de embalses y volumen almacenado en función de la capacidad de embalse.

Así, el número de embalses finalmente considerado es de 259, que representan el 92% de la capacidad total nacional. De ellos, 116 son mayores de 100 hm^3 y representan el 83% de la capacidad total. Sólo se han considerado aquellos embalses que en 2009 estaban en condiciones de retener agua (es decir, se ha prescindido de los que se encontraban en construcción o ya adjudicados, a pesar de que cabe suponer que a lo largo del período 2010-2040 entren en servicio). En el Sistema unificado elaborado en el marco del Libro blanco del agua en España (MIMAM, 2000), se consideraron 200 embalses aproximadamente; por tanto, el número se ha incrementado en un 30%. En la figura adjunta se reflejan todos los embalses considerados en el presente trabajo, indicando el criterio en función del cual han sido seleccionados. La selección del embalse es independiente de su consideración como masa significativa en la caracterización de masas de agua superficial efectuada en los estudios para la elaboración del plan hidrológico de cuenca.

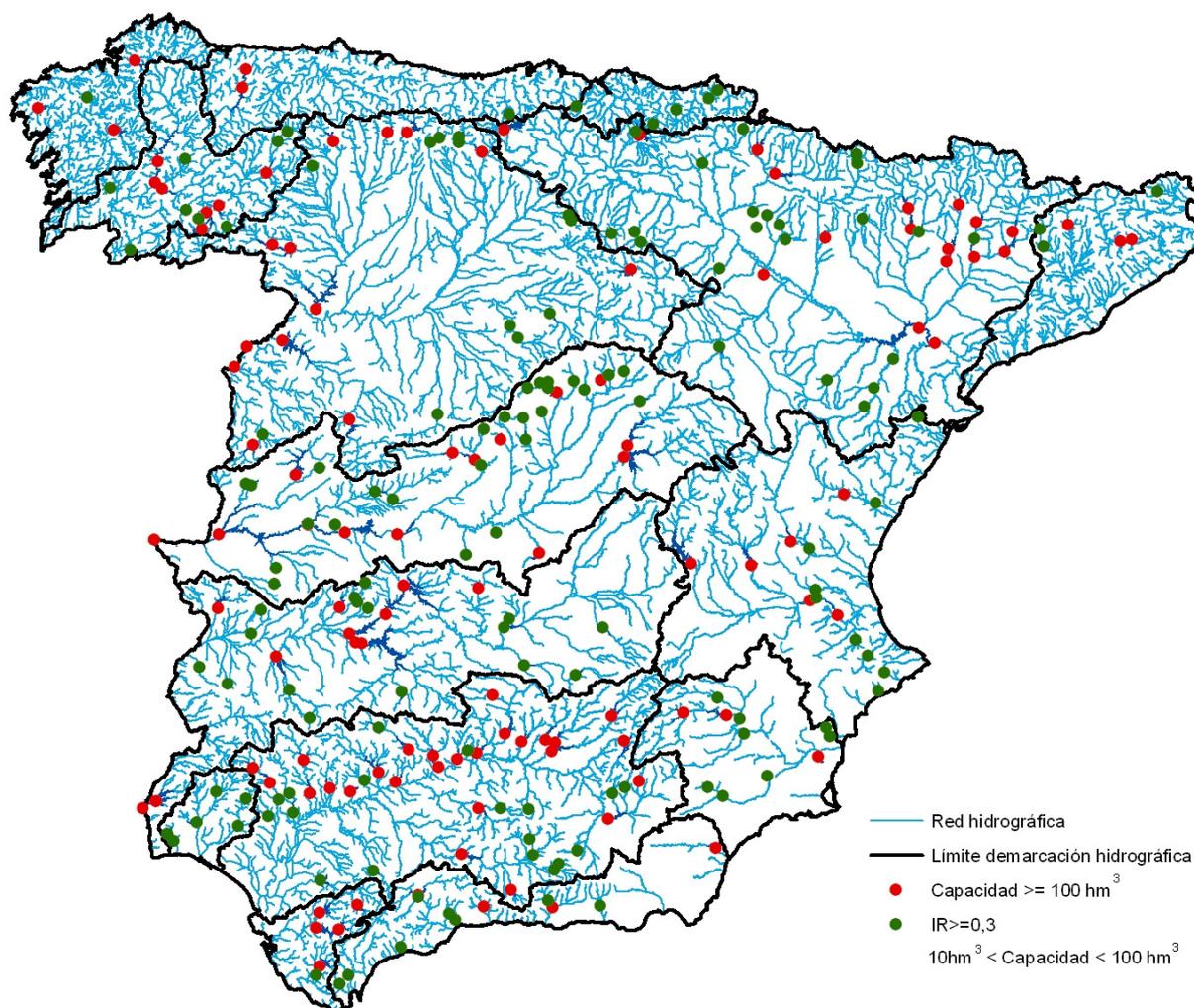


Figura 3. Embalses considerados en los sistemas de explotación.

Entre los embalses seleccionados por ser relevantes para la gestión a escala de demarcación, algunos quedan fuera de la red hidrográfica. En general no se han incluido balsas de capacidad inferior a 10 hm^3 , si bien, en algunas zonas regables se han agrupado diversas balsas inferiores a esa capacidad (pero siempre superiores a 1 hm^3) que en conjunto suponen una capacidad de regulación relevante (superior a 10 hm^3). Esta circunstancia se indica en el apartado dedicado a la demarcación correspondiente.

La hipótesis adoptada en cuanto a funcionamiento del embalse es la de libre disposición con independencia del régimen concesional actual. Es decir, se ha supuesto que puede utilizarse con total libertad la capacidad de todos los embalses considerados. Se obtendrá así una cota máxima del recurso disponible. Esta hipótesis obedece a los siguientes motivos. En primer lugar, la incertidumbre en cuanto a la situación concesional en horizontes a tan largo plazo como los manejados en el presente trabajo (2100); por tanto, para comparar diferentes horizontes en términos homogéneos es razonable suponer que no existen limitaciones concesionales en ningún momento. En segundo lugar, si el cambio climático implicara una reducción del recurso disponible para atender las necesidades consuntivas, parece razonable considerar que se liberarán concesiones a favor de los usos prioritarios. Por último, así es posible comparar con los resultados de recurso disponible obtenidos en el Libro Blanco del Agua, puesto que también se adoptó esta hipótesis. La diferencia más importante respecto a la



situación real actual aparece en las demarcaciones donde el uso hidroeléctrico es importante (fundamentalmente Miño-Sil, Duero y Tajo). Con objeto de facilitar una estimación meramente cualitativa de lo que esta limitación concesional puede representar, en el apartado dedicado a cada demarcación se señalan los embalses considerados en el sistema cuyo uso es exclusivamente hidroeléctrico en la actualidad.

En general, el volumen máximo mensual se ha obtenido bien a partir de información facilitada por los organismos de cuenca o bien de los borradores de los planes hidrológicos de cuenca en consulta pública. Este valor puede ser variable mensualmente y siempre será igual o inferior a la capacidad del embalse a máximo nivel normal y se habrá determinado en las normas de explotación de cada embalse. La condición limitante suele ser el resguardo para avenidas. Así, cuando no se ha dispuesto de información más detallada, se ha adoptado un resguardo del 5% de la capacidad máxima para laminación, de manera que el volumen máximo mensual en este caso será constante e igual al 95% de la capacidad de embalse.

El volumen mínimo adoptado representa el volumen almacenado hasta la cota por debajo de la cual no es posible derivar agua del embalse; por tanto, en general es el volumen que queda por debajo del umbral del desagüe de fondo o volumen muerto. Habitualmente este volumen es irrelevante frente al volumen máximo mensual, por lo que, en general, se ha considerado nulo. Sin embargo, en algunos casos singulares puede ser relevante y debe tenerse en cuenta por afectar a la capacidad de regulación del embalse. Esto puede deberse a que el volumen muerto sea de por sí elevado o bien a condicionantes ambientales (embalses que son zonas RAMSAR, por ejemplo) o de usos (aprovisionamiento de agua para incendios) que impiden bajarlo por debajo de una determinada cota. Estos casos se señalan en el apartado dedicado a cada demarcación; en ellos el volumen mínimo, habitualmente constante puesto que responde a un límite físico, puede ser variable a lo largo del año.

Con objeto de lograr la máxima simplificación posible en el esquema, se han agrupado embalses, cuidando siempre de no desdibujar el funcionamiento real del sistema. El caso más frecuente de agrupación ha sido el de embalses en serie siempre que en la intercuenca no se produjeran aportaciones sustanciales que, como es lógico, sólo pueden beneficiarse de la capacidad de regulación del situado aguas abajo. También se ha planteado la agrupación cuando se trata de embalses en paralelo, aguas arriba de confluencias siempre que la relación aportación/capacidad sea relativamente similar en todos ellos. En las agrupaciones, en general, la curva característica volumen-superficie del embalse conjunto se ha definido como una recta entre el origen y el punto definido por la suma de superficies y volúmenes correspondientes al nivel máximo normal de embalse.

El volumen inicial supuesto al principio de cada período de simulación ha sido el mínimo mensual del mes de octubre incrementado en el 50% de la capacidad útil (diferencia entre el volumen máximo y mínimo mensual).

La tasa de evaporación mensual utilizada ha sido, para cada mes, la media mensual de cada proyección climática para cada uno de los cuatro períodos considerados. Estos valores se han obtenido a partir de los resultados obtenidos en el Análisis de los efectos del cambio climático sobre los recursos en régimen natural (CEDEX, 2010), entre los que se incluye el valor de la evapotranspiración potencial para cada proyección climática en todo el territorio nacional discretizado en celdas de 500 m de lado. El valor que se ha utilizado es el correspondiente a la ubicación de la presa. Cuando se han agrupado varios embalses se ha utilizado el valor correspondiente al de mayor superficie, con objeto de quedar del lado de la seguridad. Habitualmente, debido a la proximidad entre los embalses que se agrupan no existen diferencias significativas en el valor de la evapotranspiración en cada uno de ellos. Sin embargo, cuando existen, se ha efectuado un análisis en función de los valores de evapotranspiración potencial y de superficies de embalse para determinar dicho valor. Para los



embalses fuera de la red, la tasa de evaporación considerada ha sido la máxima dentro de su lámina de agua.

3.2.2. APORTACIONES

Es necesario definir dos cuestiones básicas relativas a las aportaciones para configurar el modelo del sistema de explotación: identificar los puntos en los que se van a introducir las aportaciones y calcular las series de aportaciones en régimen natural a introducir como dato.

El criterio general utilizado para la definición de los puntos de aportación en el modelo ha sido que la aportación anual media acumulada en régimen natural en la intercuenca entre dos puntos de aportación consecutivos sea superior a 50 hm³. Dicha aportación se ha calculado mediante el modelo SIMPA para el período 1940-2005. No obstante, en algunos casos, este criterio no se ha podido respetar para garantizar que se consideraban todas las aportaciones significativas para la satisfacción de demandas o el cumplimiento de restricciones ambientales situadas aguas abajo. Como ya se ha indicado al abordar las masas de agua de la categoría ríos, este criterio implica que en demarcaciones costeras o que afectan a tramos de frontera, no se hayan considerado todos los cauces, si bien el porcentaje de aportación natural del que se prescinde no es relevante frente al total de la demarcación. En la figura siguiente se reflejan todos los puntos de aportación considerados, que ascienden a 514. Ello supone un incremento importante respecto a los empleados en los análisis del Libro blanco del agua en España, que ascendieron a 350 aproximadamente. En el apartado dedicado a cada demarcación se pueden apreciar con más detalle.

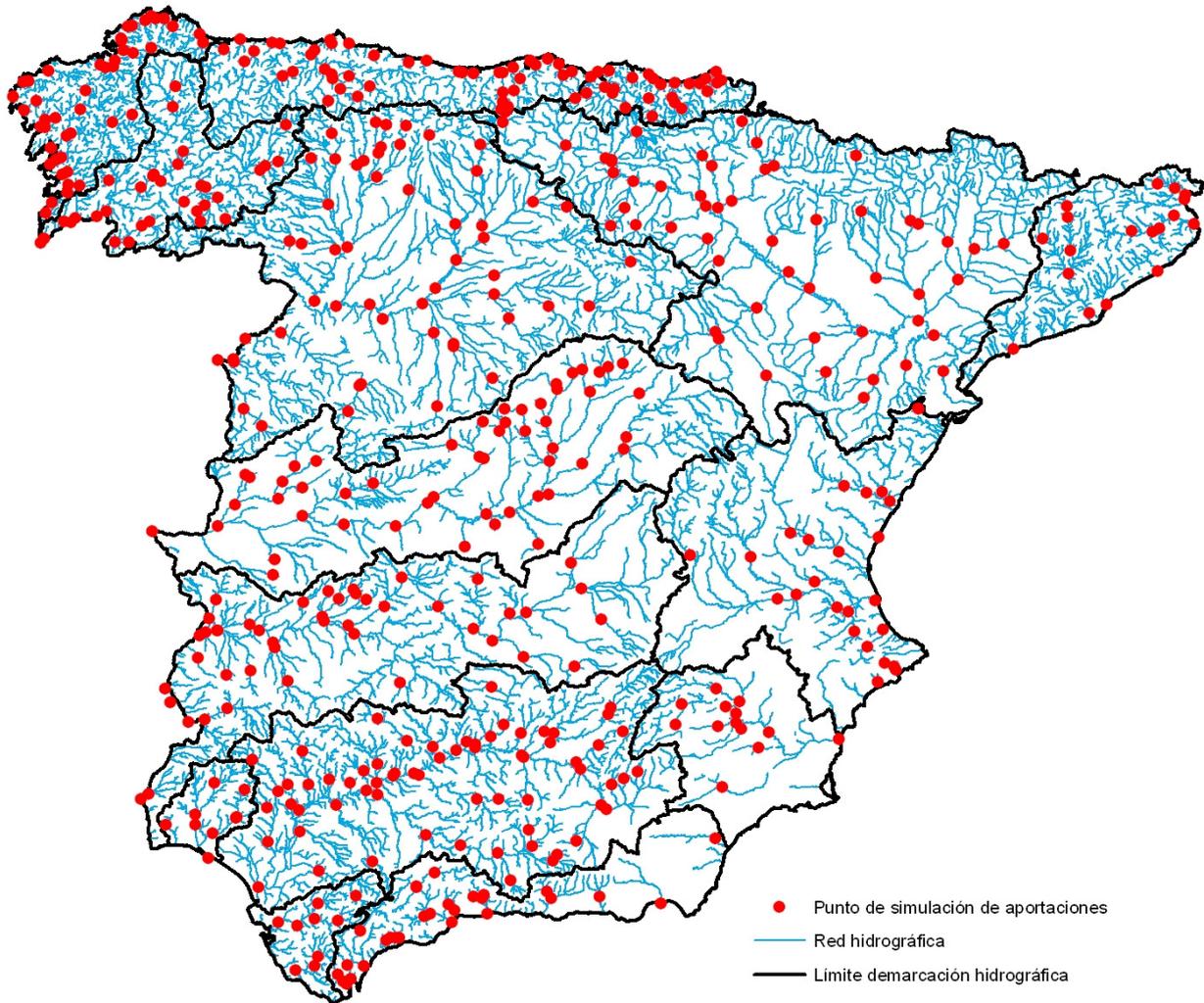


Figura 4. Puntos de simulación de aportaciones considerados en cada demarcación hidrográfica.

En el modelo del sistema de explotación se han reflejado todos los puntos de aportación necesarios para conocer el volumen que sale del sistema. En el caso de demarcaciones costeras dicho volumen es el que recibe el agua costera. Cuando existen aguas de transición que reciben aportes de varios cauces de manera que la suma de la aportación media anual de todas ellas es superior a 50 hm^3 , pero individualmente ninguno la supera, se ha definido un punto de aportación al final de la masa de agua de transición que los aglutina y permite incorporar la aportación conjunta en el modelo. Esta aportación se tiene en cuenta para determinar el volumen que se entrega al agua costera y puede ser relevante a efectos de cumplir el caudal mínimo en aguas de transición, pero no se tiene en cuenta para calcular el recurso disponible. Esto refleja la situación real, pues la salinidad de esta agua imposibilitará su uso consuntivo. Sin embargo, cuando la aportación al agua de transición de subcuencas distintas de la principal es importante y existen tomas en los pequeños cauces afluentes al agua de transición, estos cauces se han considerado para la obtención del recurso disponible si su aportación media anual es superior a 20 hm^3 .

También pueden existir casos en los que la simplificación conduzca a que el último punto del modelo se haya ubicado, de acuerdo con las restricciones ambientales o demandas existentes,



aguas arriba del punto final real de la demarcación, lo cual implica que se prescinde de un pequeño porcentaje de la aportación en los cauces simulados.

En el análisis de cada una de las demarcaciones se señala el porcentaje de la aportación en régimen natural de todos los cauces considerados en el modelo que se ha tenido en cuenta para la determinación del recurso disponible. Allí puede comprobarse que el recurso natural del que se ha prescindido no es significativo y no tiene influencia en el resultado.

Sólo se han considerado las aportaciones generadas en territorio español, prescindiendo de las producidas en territorio portugués que se incorporan a los tramos internacionales de los ríos fronterizos.

El objetivo del estudio es el análisis de la evolución del recurso disponible en cada demarcación como consecuencia de la afección del cambio climático sobre los recursos hídricos. Por ello, sólo se han considerado los recursos naturales propios, que son los que pueden verse afectados por el cambio climático en dicha demarcación. Por tanto, no se han tenido en cuenta las aportaciones procedentes de transferencias desde otras demarcaciones ni los recursos no convencionales (desalación y reutilización).

La serie de aportación en cada uno de los puntos considerados se ha obtenido a partir de los mapas de escorrentía natural total acumulada generados en el Análisis de los efectos del cambio climático sobre los recursos en régimen natural (CEDEX, 2010) para cada proyección climática en todo el territorio nacional discretizado en celdas de 500 m de lado por aplicación del modelo SIMPA. Se dispone de un mapa para cada uno de los meses de cada período. Por tanto, para conocer la serie de aportaciones en cada punto ha sido necesario extraer el valor de la escorrentía en la celda en la que se encuentra el punto de aportación en 360 mapas para cada período. Si se tiene en cuenta que el total de puntos de simulación de aportaciones a nivel nacional, según se ha indicado, asciende a 514, es obvia la necesidad de automatizar el proceso. Para ello se ha diseñado una aplicación sobre SIG que permita obtener la serie de valores de escorrentía natural total acumulada a partir de los mapas mensuales disponibles y que calcule también la aportación incremental correspondiente a la intercuenca entre puntos de aportación consecutivos, que es el valor que se necesita en cada punto para poder realizar la simulación del sistema y obtener el recurso disponible.

La escorrentía total calculada por el modelo SIMPA engloba tanto la escorrentía superficial directa como la subterránea que acaba aflorando a los cauces. El modelo también estima la recarga que queda almacenada en los acuíferos sin fluir a la red superficial. Como se ha indicado ya, esta recarga no se introduce en la simulación del sistema de explotación. Por tanto, en la evaluación del recurso disponible se está prescindiendo de esta recarga que, previa extracción, se podría integrar también en dicho recurso. Por tanto, hay que señalar que el recurso disponible calculado corresponde a la escorrentía superficial exclusivamente, prescindiendo de la recarga renovable de las masas de agua subterránea que queda almacenada en ellas. Suponiendo que las masas de agua subterránea no se encuentran sobreexplotadas, la evolución del recurso disponible asociado al sistema subterráneo coincide con la evolución de la recarga en condiciones naturales, que ya ha sido evaluada en *Análisis de los efectos del cambio climático sobre los recursos en régimen natural* (CEDEX, 2010).

Esta consideración sobre las aportaciones, derivada de las características del modelo de optimización empleado, explica que no se haya evaluado el recurso disponible en aquellas demarcaciones en los que los recursos superficiales no son significativos, como es el caso de los dos archipiélagos, especialmente en el caso de las Islas Canarias.

Además de obtener la serie mensual de aportaciones en régimen natural correspondiente a cada proyección climática para cada período, en el período de control se ha obtenido también, aplicando el mismo modelo SIMPA, la serie mensual correspondiente a los datos climáticos observados, con objeto de tener así un elemento de contraste que permita analizar las



desviaciones de partida entre la esorrentía derivada de las proyecciones y la derivada de datos climáticos reales.

En la tabla siguiente se incluye un resumen de las proyecciones (combinaciones de escenarios de emisiones, modelos de circulación global, procedimientos de regionalización y períodos) consideradas para la obtención de la serie de aportación en régimen natural a introducir en el modelo de simulación de cada demarcación para cada escenario. Se han utilizado dos escenarios de emisiones¹ de gases de efecto invernadero, A2 y B2 (de manera muy simplificada el A2 podrá asimilarse a un escenario en el que no se toman medidas tendentes a la sostenibilidad, mientras que en el B2 éstas si están presentes). Esta selección de proyecciones se basa en los criterios establecidos por AEMET y reseñados en la Evaluación del impacto del cambio climático en los recursos hídricos en régimen natural (CEDEX, 2010). En el período P1 las series de aportaciones coinciden en los dos escenarios.

Escenario de emisiones	Modelo de circulación global	Regionalización	Período			
			1961-1990 (P1)	2011-2040 (P2)	2041-2070 (P3)	2071-2100 (P4)
A2	CGCM2	Análogos-FIC	SI	SI	SI	SI
	ECHAM4	Análogos-FIC	SI	SI	SI	SI
	HadAM3	Análogos-FIC	SI	NO	NO	SI
	HadCM3	SDSM	SI	SI	SI	SI
	HadCM3	PROMES	SI	NO	NO	SI
	ECHAM4	RCAO y proyecto PRUDENCE	SI	NO	NO	SI
B2	CGCM2	Análogos-FIC	SI	SI	SI	SI
	ECHAM4	Análogos-FIC	SI	SI	SI	SI
	HadAM3	Análogos-FIC	SI	NO	NO	SI
	HadCM3	SDSM	SI	SI	SI	SI
	HadCM3	PROMES	SI	NO	NO	SI
	ECHAM4	RCAO y proyecto PRUDENCE	SI	NO	NO	SI

Tabla 1. Proyecciones climáticas para las que se han calculado las series mensuales de aportación en régimen natural a incluir en el sistema de explotación de cada demarcación.

3.2.3. DEMANDAS

Se pretende obtener el recurso disponible, es decir, la máxima demanda que puede satisfacerse en un sistema de acuerdo con un criterio de garantía una vez cumplidas las

¹ La línea evolutiva y familia de escenarios A2 describe un mundo muy heterogéneo. Sus características más distintivas son la autosuficiencia y la conservación de las identidades locales. El índice de natalidad en el conjunto de las regiones converge muy lentamente, con lo que se obtiene una población en continuo crecimiento. El desarrollo económico está básicamente orientado a las regiones y el crecimiento económico por habitante así como el cambio tecnológico están más fragmentados y son más lentos que en otras líneas evolutivas.

La línea evolutiva y familia de escenarios B2 describe un mundo en el que predominan las soluciones locales a la sostenibilidad económica, social y ambiental. Es un mundo cuya población aumenta progresivamente a un ritmo menor que en A2, con unos niveles de desarrollo económico intermedios y con un cambio tecnológico menos rápido y más diverso que en las líneas evolutivas A1 y B1. Aunque este escenario está también orientado a la protección del medio ambiente y a la igualdad social, se centra principalmente en los niveles local y regional. (IPCC, 2007)

restricciones previas, que en este análisis serán solo ambientales. Como ya se ha señalado, se trata de un indicador teórico, que no pretende reflejar una situación real, sino identificar las posibilidades máximas de cada sistema para una configuración de infraestructuras y una serie de aportaciones naturales dadas.

Conviene destacar, no obstante, que el objetivo del trabajo no es tanto conocer el valor absoluto del recurso disponible, sino la afección del cambio climático sobre él. Es decir, se trata de conocer su evolución en el tiempo a lo largo de los tres períodos considerados P2 (2010-2040), P3 (2040-2070) y P4 (2070-2100) con respecto al período de control (P1: 1960-1990).

3.2.3.1. MODULACIÓN DE LA DEMANDA

Para obtener este máximo teórico es necesario considerar cada tipo de demanda separadamente. Sólo se han considerado demandas consuntivas, bien con modulación intraanual constante, asimilable al abastecimiento urbano, o bien con modulación variable. En este último caso, puesto que la demanda mayoritaria en España es el regadío, la modulación adoptada resulta del análisis de la demanda de una serie de zonas representativas a nivel nacional. La modulación adoptada es la utilizada en la evaluación del recurso disponible realizada en el Libro Blanco del Agua (MIMAM, 2000). Por tanto, para cada proyección climática en cada horizonte será necesario, en cada demarcación, determinar el recurso disponible al menos en dos situaciones: con demanda uniforme y con demanda variable. En la tabla siguiente se recoge la modulación de ambas demandas.

TIPO DE DEMANDA	VALOR MENSUAL (%)												TOTAL
	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	
Uniforme	8,3	8,3	8,3	8,3	8,3	8,3	8,3	8,3	8,3	8,3	8,3	8,3	100
Variable	3,0	0	0	0	0	1,0	4,0	11,0	18,0	27,0	25,0	11,0	100

Tabla 2. Modulación anual de las demandas consideradas en el análisis.

Cabe destacar que sólo se ha considerado una modulación para demanda variable. De acuerdo con los resultados obtenidos en el Análisis de los efectos potenciales del cambio climático en las demandas de agua y estrategias de adaptación (CEDEX, 2012), se conoce cuál sería la dotación mensual de determinados cultivos para cada una de las proyecciones climáticas, detectándose que se puede producir una modificación tanto del período como del valor punta así como de la dotación anual. Sin embargo, la distribución de demanda que interesa en el análisis del recurso disponible no es la asociada a un cultivo, sino a la distribución de cultivos implantada en las zonas regables que integran cada unidad de demanda. Si se acentúan los desfases entre la punta demanda y la aportación respecto a la situación de partida, con seguridad se desencadenará una estrategia de adaptación por parte del agricultor, que o bien modificará la fecha de siembra o bien utilizará otras variedades de cultivos. Teniendo en cuenta además que la decisión del tipo de cultivo a implantar está asociada a variables de mercado cuya simulación no es objeto del presente trabajo, la gama de posibilidades es tal, que carece de sentido considerar múltiples modulaciones de demanda diferentes de la actual.

3.2.3.2. CRITERIO DE GARANTÍA

Un concepto esencial para la determinación del recurso disponible es el criterio de garantía utilizado para considerar satisfecha una demanda. Una modificación de este criterio puede conducir a variaciones del recurso disponible superiores a las que implica una modificación de



las aportaciones. El criterio es diferente para demanda uniforme o variable; habitualmente es más exigente para uniforme, por ir asociada al abastecimiento urbano. En este trabajo el criterio adoptado para demanda uniforme ha sido el de 100% mensual, es decir, no se admite déficit en ningún mes del período analizado. Se trata de un criterio muy exigente, que permite reproducir el concepto de la máxima cantidad de agua que se puede extraer de un cauce sin interrupción a lo largo de todo el período considerado. Este criterio ha sido utilizado en otros estudios anteriores, en particular en el Libro Banco del Agua (Ministerio de Medio Ambiente, 2000), por lo que permite comparar resultados.

Para demanda variable, el criterio utilizado ha sido el establecido en la Instrucción de Planificación Hidrológica vigente (Orden ARM/2656/2008) para la demanda de riego, que admite un déficit del 50% de la demanda anual en un año, un déficit del 75% de la demanda anual acumulado en dos años consecutivos y un déficit del 100% de la demanda anual acumulada en 10 años consecutivos.

La verificación del criterio de garantía debe realizarse independientemente para cada uno de los períodos asociados a cada proyección, por lo que en cada demarcación debe efectuarse una simulación para cada período y tipo de demanda.

3.2.3.3. AGRUPACIÓN DE DEMANDAS

Como ya se ha indicado, el sistema de explotación de la demarcación es un sistema simplificado en el que se ha prescindido de algunas masas de agua, aportaciones e infraestructuras. Lo mismo sucede en cuanto a las demandas. Así, las unidades de demanda se agrupan dando lugar a otras mayores que permitan reproducir de manera suficientemente aproximada el comportamiento real. Teniendo en cuenta estas simplificaciones se ha elaborado un esquema de la demarcación en el que se han ubicado las distintas demandas y se han representado también sus retornos. A título de ejemplo se incluye el esquema simplificado resultante para la demarcación del Miño-Sil.

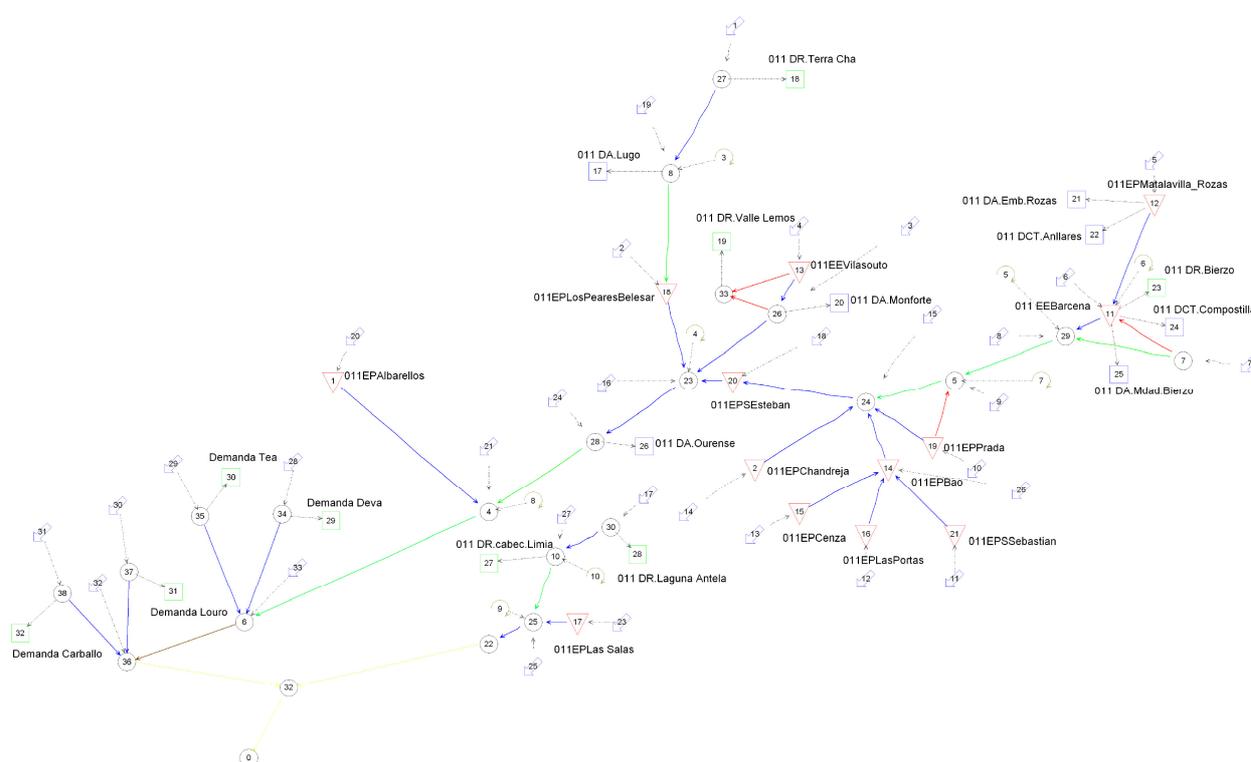


Figura 5. Esquema simplificado de la demarcación hidrográfica del Miño-Si con demanda distribuida (situación real).

La determinación del recurso disponible coherente con la ubicación actual de las demandas se obtendría incrementando el valor de cada una hasta que fallara el criterio de garantía y sumando el valor máximo correspondiente a cada una de ellas. Esto requiere un gran esfuerzo de cálculo en las simulaciones, pues es necesario realizar un gran número de iteraciones hasta encontrar el valor máximo admisible para cada una de las demandas.

Cada iteración supone una simulación del sistema. Cada una de las iteraciones para encontrar la demanda máxima debe realizarse en cada demarcación para cada una de las series de aportaciones de cada período de cada proyección climática, tanto para demanda uniforme como variable. El número de situaciones a simular en cada demarcación derivadas de la combinación de proyecciones climáticas (modelo de circulación global, procedimiento de regionalización y escenario) y períodos oscila entre 31 y 40, en función de que las restricciones ambientales estén ya definidas o no. Cada combinación debe reproducirse con demanda uniforme y variable, lo cual eleva el número de combinaciones por demarcación a un mínimo de 62 y un máximo de 80. Si para cada una de ellas es necesario realizar un proceso iterativo asociado a cada una de las demandas distribuidas por la demarcación, el cálculo puede resultar inabordable teniendo en cuenta el elevado número de demandas en cada cuenca.

El proceso se complica aún más si se pretende determinar el máximo recurso disponible en la demarcación con independencia de la ubicación actual de las demandas. Ello obligaría a colocar demandas sucesivamente desde aguas arriba hacia aguas abajo en cada uno de los nudos del esquema de la demarcación, lo cual incrementaría aún más el número de iteraciones a realizar.

En función de todo lo expuesto, se ha decidido efectuar una notable simplificación en la distribución de las demandas para determinar el recurso disponible, sustituyendo todas las demandas de la demarcación por una colocada al final de cada cuenca incluida en el sistema de explotación. En la figura siguiente se refleja el mismo sistema anterior con demanda



concentrada en lugar de distribuida, destacando en rojo las demandas consideradas. En el apartado dedicado a cada demarcación se ha incluido el esquema simplificado tanto con demanda distribuida como concentrada, que ha sido el utilizado para el cálculo de la evolución del recurso disponible.

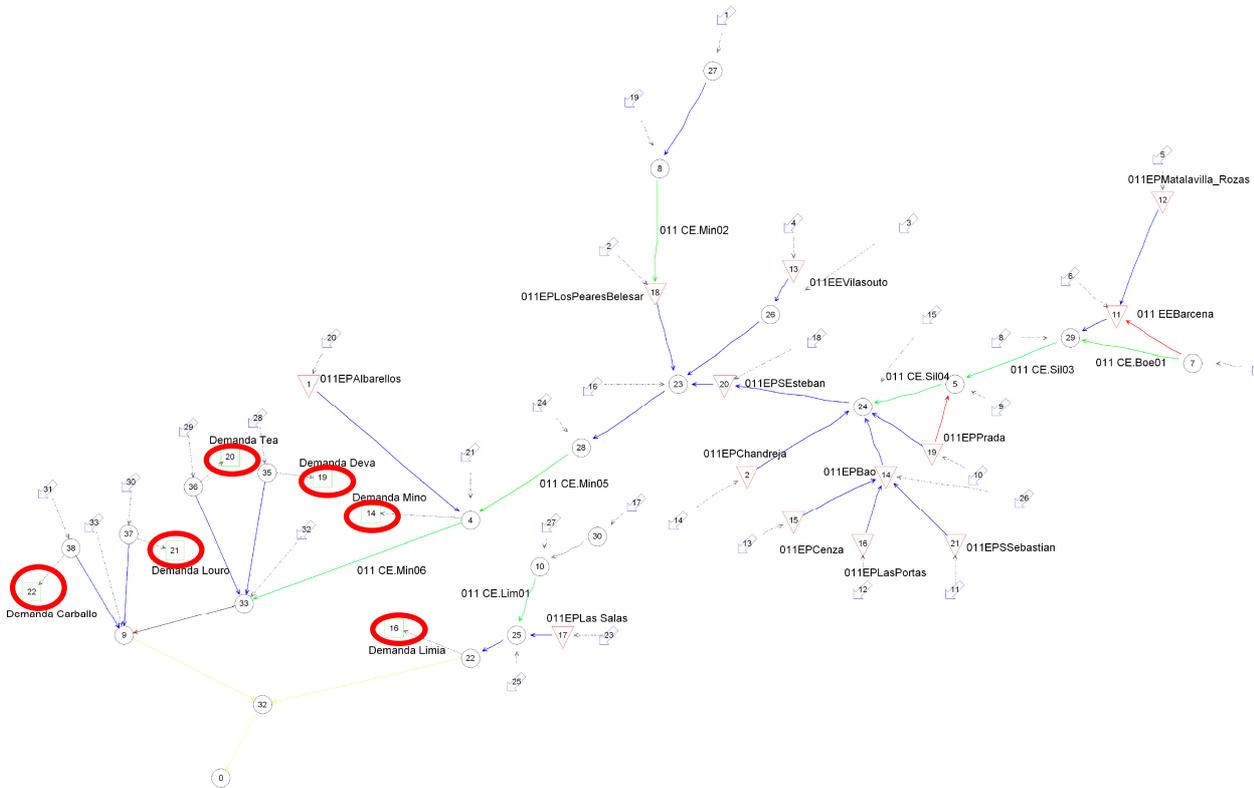


Figura 6. Esquema simplificado de la demarcación hidrográfica del Miño-Sil con demanda concentrada.

Hay que tener en cuenta que el objetivo del trabajo es la determinación de la evolución del recurso disponible con respecto al período de control, no la cuantificación de su valor absoluto en cada período. Por ello, es necesario verificar que la concentración de demandas al final de la cuenca no altera sustancialmente los resultados en la evolución del recurso disponible. Para ello se ha obtenido en la demarcación del Miño-Sil el recurso disponible con demandas distribuidas y con demanda concentrada al final de la cuenca, tanto uniforme como variable para los dos períodos extremos de la proyección CGCM2-FIC en el escenario de emisiones A2, sin tener en cuenta restricciones ambientales. Los resultados se recogen en la siguiente tabla.

PROYECCIÓN	MODULACIÓN DEMANDA	UBICACIÓN DEMANDA	PERÍODO	RD (RECURSO DISPONIBLE) (hm ³)	RD P4/RD P1
CGCM2-FIC-A2	Uniforme	Distribuida	P1	4280	0,81
			P4	3473	
	Variable	Concentrada	P1	7201	0,82
			P4	5946	
	Variable	Distribuida	P1	4428	0,80
			P4	3550	



PROYECCIÓN	MODULACIÓN DEMANDA	UBICACIÓN DEMANDA	PERÍODO	RD (RECURSO DISPONIBLE) (hm ³)	RD P4/RD P1
		Concentrada	P1	4426	
			P4	3730	0,84

Tabla 3. Comparación de la evolución del RD con demanda distribuida y demanda concentrada. Demarcación hidrográfica del Miño-Sil.

Puede apreciarse como existen diferencias en el valor absoluto del recurso disponible según la distribución espacial de la demanda, de su modulación y de los criterios de garantía, diferentes según la modulación. Las diferencias en valor absoluto no son muy importantes para demanda variable. En este caso, para la demanda distribuida se ha considerado un retorno del 20%, habitualmente empleado para el regadío. En cambio, para la modulación uniforme no se ha utilizado coeficiente de retorno, lo que justifica las grandes diferencias en valor absoluto entre distribuida y concentrada. Si se suponen unos retornos del 80%, valor frecuentemente asignado al abastecimiento, el recurso disponible en P1 con demanda distribuida pasa de 4280 hm³ a 7096 hm³, muy similar a los 7201 hm³ obtenidos con demanda concentrada.

Sin embargo, si se prescinde de los valores absolutos y se analiza la evolución del recurso disponible en el periodo P4 frente al de control, P1, puede verse que el resultado es prácticamente coincidente con demanda distribuida y con demanda concentrada. En consecuencia, atendiendo al objetivo del trabajo, puede adoptarse la hipótesis de demanda concentrada al final de cada cuenca y en su caso subcuenca, incluidas en el esquema de la demarcación, lo que simplifica notablemente los cálculos.

Si el tramo final tiene establecido un caudal mínimo, la demanda se coloca aguas arriba, de manera que se vea restringida por dicho caudal, como sucede en la realidad. Esta situación se da en el tramo final del río Miño (CEMin06), tal como se refleja en el esquema con demanda concentrada de la figura anterior.

Si se trata de una cuenca que vierte a un agua de transición que, de acuerdo con el esquema simplificado, recibe más de una aportación, se ha colocado una demanda al final de cada una de las subcuencas afluentes para tener en cuenta su aportación en el cálculo del recurso disponible. Por tanto es posible que en una misma cuenca existan varias demandas concentradas. En el esquema con demandas concentradas de la figura anterior puede verse cómo además de la demanda concentrada del río Miño, se han considerado otras cuatro asociadas a los afluentes de la margen derecha de la ría cuya aportación anual es superior a 50 hm³.

Al ubicar la demanda al final de la cuenca, no se han considerado retornos ni para demanda uniforme ni para variable. En el caso de demanda uniforme, esta hipótesis es muy común para la determinación del recurso disponible, asociando éste a la máxima cantidad de agua que puede detraerse del sistema de manera continua a lo largo de todo el período considerado. Sin embargo, en el caso de demanda variable, es habitual la consideración de retornos al hacer el análisis con demanda distribuida. Con la ubicación adoptada para la demanda se ha prescindido del retorno. Para tenerlo en cuenta bastaría con incrementar el recurso disponible en una magnitud equivalente al porcentaje de retorno considerado (habitualmente el 20%). Sin embargo, esto sólo se reflejaría en el valor absoluto del recurso disponible y no en su evolución respecto al período de control. Puesto que el objetivo es analizar la evolución no es necesario tener en cuenta el retorno con la agrupación de demandas adoptada.



3.2.4. CONDUCCIONES

En el esquema correspondiente a demanda distribuida, se han considerado todas las conducciones artificiales de transporte de agua que pueden ser relevantes para la satisfacción de las demandas o de los caudales ecológicos, que fundamentalmente son aquellas que enlazan distintos cauces, o bien aquellas que representan la posibilidad de atender una misma demanda desde diferentes captaciones. Las conducciones artificiales aparecen representadas en color rojo en los esquemas de los sistemas de explotación. En general no se han considerado aquellas conducciones cuya finalidad es la atención de una sola demanda, como puede ser el canal de una zona regable, puesto que dicho canal estará dimensionado para satisfacer dicha demanda y no es el objetivo perseguido verificar dicho dimensionamiento.

De cada conducción es necesario especificar su capacidad de transporte máxima y, en su caso, mínima, si bien este dato en una conducción artificial habitualmente siempre será nulo. En el apartado dedicado a cada demarcación se indican las conducciones consideradas y su capacidad máxima. Sólo se ha reflejado la capacidad máxima cuando ésta podía ser relevante para la satisfacción de la demanda o del régimen de caudales mínimos. Cuando no se da esta circunstancia y no se conoce la capacidad de transporte o bien la conducción es una representación de una posibilidad de suministro desde una captación para la que realmente no existe limitación de capacidad, se ha supuesto una capacidad de transporte muy elevada y en la descripción del esquema correspondiente se ha indicado "sin limitación".

En el esquema simplificado con demanda concentrada las únicas conducciones que pueden desempeñar un papel relevante en el cálculo del recurso disponible son las que conectan distintos cauces. Por tanto, no son relevantes en el resultado, aunque aparezcan en dicho esquema, las que representan distintas posibilidades de suministro de una misma demanda, puesto que sólo se considera una demanda al final de la cuenca. Igualmente tampoco se han considerado operativas a efectos del cálculo del recurso disponible, aunque pueden figurar en el esquema de la cuenca cedente o receptora, las conducciones de trasvase entre demarcaciones, puesto que solo se tienen en cuenta los recursos naturales propios.

3.2.5. RESTRICCIONES PREVIAS

Por restricciones previas del sistema de explotación se entienden aquellas necesidades cuya atención es prioritaria a cualquier demanda y que, por tanto, constituyen un requerimiento que la gestión del sistema debe asegurar previamente a la satisfacción de cualquier demanda. Por tanto, para la obtención del recurso disponible en un sistema debe asegurarse primero que se han cumplido estas restricciones. Las restricciones pueden ser de dos tipos: geopolíticas y ambientales. Dentro de las primeras se encuentran la satisfacción de los acuerdos internacionales establecidos en cuencas transfronterizas. Las ambientales corresponden al régimen de caudales ecológicos.

3.2.5.1. RESTRICCIONES GEOPOLÍTICAS

En España, las restricciones geopolíticas significativas afectan a las cuencas compartidas con Portugal, y están reflejadas en el "Convenio de Albufeira"². En él se regula el régimen de caudales que España debe garantizar en frontera a Portugal siempre que no se trate de

² Convenio sobre cooperación para la protección y el aprovechamiento sostenible de las cuencas hidrográficas hispano-portuguesas, hecho "ad referendum" en Albufeira el 30 de diciembre de 1998 (BOE 12 de febrero de 2000).



circunstancias hidrológicas excepcionales, que están identificadas en dicho convenio. Hay que destacar que el plazo de vigencia establecido en el acuerdo es de 7 años y que la definición de las circunstancias de excepción se realiza en función de la precipitación acumulada a lo largo del año hidrológico en determinadas estaciones que se consideran representativas para la aportación de la cuenca.

Como se ha señalado ya, en los períodos futuros a analizar en el presente trabajo, de 2011 a 2100, la precipitación prevista en las distintas proyecciones climáticas tiene un comportamiento muy diferente a la actual, tanto en variabilidad como en magnitud y, en consecuencia, lo mismo sucede con la aportación. Contrasta asimismo la longitud de los horizontes de análisis del presente trabajo con el plazo de vigencia del Convenio de Albufeira, si bien se prevé su prórroga, una vez superados los primeros siete años, por períodos de tres años, salvo que una de las partes lo denuncie. Por consiguiente, resultaría totalmente incoherente aplicar en el futuro las exigencias de caudal en frontera establecidas en la situación actual, así como las condiciones de excepción. Dicho supuesto probablemente conduciría a resultados absurdos en los que el suministro del régimen de caudales en frontera reduciría muy notablemente el recurso disponible en la parte española (téngase en cuenta que en las cuencas transfronterizas, dependiendo de la proyección, período y demarcación se llegan a producir reducciones de la aportación media anual incluso superiores al 50% con respecto al período de control).

Teniendo en cuenta lo anterior, en el cálculo del recurso disponible se ha prescindido de las restricciones geopolíticas, al no poder contar con una evaluación de las mismas adecuada a cada período de análisis. No procede considerarlas tampoco en el período de control, para el que sí son representativas, puesto que entonces la evolución del recurso disponible en los períodos futuros con respecto al de control no se efectuaría en términos homogéneos. Es decir, se desvirtuaría el efecto del cambio climático sobre el recurso disponible.

3.2.5.2. RESTRICCIONES AMBIENTALES

La única componente del régimen de caudales ecológicos que es aplicable es el régimen de caudales mínimos, puesto que la escala de análisis adoptada es la mensual. Por lo tanto, no son aplicables ni la tasa de cambio ni el caudal de crecida. En este caso se vuelve a dar una situación parecida a la expuesta para las restricciones geopolíticas. Los planes de cuenca actualmente en revisión deben establecer un régimen de caudales mínimos para las masas de agua de su demarcación. Las condiciones hidrológicas y las especies a las que corresponden son, sensiblemente, las correspondientes al período de control. No obstante, si como consecuencia del cambio climático en los períodos futuros de 2011 al 2100, se alteran tanto las condiciones hidrológicas como las especies presentes en cada masa de agua, también variará la distribución de caudales mínimos.

Pueden adoptarse dos enfoques. El primero consiste en considerar que el cambio climático es una presión sobre las masas de agua equiparable a otras de origen antrópico, como las extracciones o la contaminación. Por tanto, no cabe admitir con carácter general que se modifiquen las condiciones de las masas de agua como consecuencia de esa afección y, por tanto, el régimen de caudales mínimos debe mantenerse invariable en cualquier período futuro. El segundo enfoque consiste en considerar que la afección del cambio climático dará lugar a unas condiciones ambientales diferentes que modificarán la distribución de especies y, por tanto, las condiciones de referencia y la distribución de caudales mínimos asociada. No existe acuerdo general sobre cuál debe ser el planteamiento a seguir.

El primer enfoque implica que la restricción ambiental es constante e igual a la actual a lo largo de todos los horizontes y, por tanto, conocida. Esta perspectiva, aunque posible, no parece viable a largo plazo, puesto que el mantenimiento de la distribución de especies no depende



solo del caudal circulante, sino también de otras variables ambientales como temperatura, humedad, etc.

En cuanto al segundo enfoque, actualmente no se cuenta con procedimientos para conocer la distribución de especies resultante de la afección del cambio climático y, por tanto, no se pueden aplicar los métodos biológicos para determinar el régimen de caudales mínimos en el futuro. De hecho, en el Análisis del cambio climático en el estado ecológico de las masas de agua (CEDEX, 2012), se dan los primeros pasos para el estudio de la repercusión del cambio climático sobre la distribución de las especies.

En definitiva, se conocen los caudales mínimos aplicables en el período de control, pero no en períodos futuros. Por ello no tiene sentido considerar los caudales mínimos para analizar la evolución del recurso disponible en horizontes futuros. El cálculo del recurso disponible, a efectos de conocer su evolución con respecto al período de control, se ha realizado prescindiendo de los caudales mínimos. Sin embargo, en el período de control también se ha realizado el cálculo del recurso disponible considerando los caudales mínimos, con el único objetivo de evaluar el orden de magnitud de la reducción que ocasiona sobre el recurso disponible en situación actual y compararlo con la afección del efecto del cambio climático a largo plazo.

Para el cálculo del recurso disponible en el período de control se ha exigido para el caudal mínimo la misma garantía mensual que tendría en régimen natural, entendiendo por garantía mensual el porcentaje de meses de todo el periodo de optimización en que el caudal circulante por un tramo es igual o superior al caudal mínimo de dicho tramo. Para ello se ha simulado el sistema sin infraestructura ni demandas y se ha calculado la garantía del caudal mínimo establecido. Esa misma garantía es la que se ha exigido con prioridad absoluta sobre la demanda para calcular el recurso disponible en el período de control y comparar el efecto de la consideración de los caudales mínimos actuales con la afección del cambio climático a largo plazo. Ello ha exigido realizar tres simulaciones adicionales para cada proyección con la serie de aportaciones del período de control: caudales mínimos sin infraestructuras ni demandas, caudales mínimos con infraestructuras y demanda concentrada uniforme y también con demanda variable.

Sólo se han considerado caudales mínimos en aquellas demarcaciones cuyo borrador de plan de cuenca se encontraba en consulta pública (o en una fase posterior del proceso de tramitación) el 1 de mayo de 2011 y se disponía, por tanto, de unos valores propuestos en la normativa de dicho borrador. Los valores utilizados son provisionales, puesto que aún pueden ser modificados hasta la aprobación definitiva del Plan por parte del Gobierno. La fecha límite adoptada responde a la necesidad de finalizar los cálculos del recurso disponible en todas las demarcaciones para poder finalizar el presente estudio. Así, las demarcaciones en las que se han considerado han sido: Cantábrico Oriental (en la parte de las Cuencas Internas del País Vasco), Miño-Sil, Duero, Guadalquivir y Cuencas Internas de Cataluña.

Con objeto de alcanzar un grado de simplificación aceptable para el sistema de explotación, en el caso de que en el borrador del plan figurasen caudales mínimos para todas las masas de agua, sólo se ha considerado el régimen de caudales mínimos establecido en la normativa del borrador de cada plan para las masas consideradas como estratégicas. Este concepto respondía a una primera identificación realizada durante la elaboración de los planes en las demarcaciones con cuencas intercomunitarias, en la que se identificó un reducido número de masas en cada una de ellas en las que se consideraba prioritaria la definición del régimen de caudales mínimos por el condicionante que podían representar para todo el sistema de explotación. En las demarcaciones con cuencas intracomunitarias en las que no se haya utilizado este concepto se ha procedido a esta identificación a partir de la documentación de los planes o se ha contrastado con el servicio correspondiente.



Para cada tramo de río con caudal mínimo es necesario especificar su valor. En el apartado dedicado a cada demarcación se reflejan los tramos considerados y la distribución de caudales para cada uno de ellos. Dichos tramos aparecen representados en color verde en el esquema de cada demarcación.

Como ya se ha señalado en el apartado de demandas, si el tramo final de la cuenca tiene establecido un caudal mínimo, la demanda se coloca aguas arriba, de manera que se vea restringida por dicho caudal.

Es conveniente señalar que, debido a la simplificación que supone la consideración de una sola demanda concentrada al final de cada cuenca reproducida en el modelo, el efecto del caudal mínimo sobre el recurso disponible está muy asociado a la ubicación relativa de dicha demanda respecto a los tramos de caudal mínimo. Si la demanda está inmediatamente aguas arriba del tramo, la repercusión puede ser importante y el efecto más próximo a la situación real. Sin embargo, si los tramos se encuentran alejados de la demanda, el efecto de alteración de la modulación que suponen frente a la requerida por la demanda puede verse compensado por la aportación generada a lo largo de la cuenca entre dichos tramos y la demanda, de manera que el efecto se ve artificialmente reducido respecto a la realidad.

Se ha comprobado que si existe un tramo con caudal mínimo al final de la cuenca, la consideración de demanda concentrada puede ser suficientemente aproximada para evaluar la reducción del recurso disponible motivada por la consideración de los caudales mínimos. Lógicamente se trata de una simplificación cuya validez va ligada a la cuantía y distribución mensual del régimen de caudales mínimos.

Por ejemplo, en la demarcación del Miño-Sil para la proyección CGCM2_FIC-A2 en el período P1, para demanda uniforme concentrada la reducción del recurso disponible al considerar el caudal mínimo es del 57%, mientras que con demanda distribuida (prescindiendo de retornos) es del 50%; con modulación variable, la reducción asociada al caudal ecológico con demanda concentrada es del 68%, mientras que con distribuida es del 65%. Es decir, suponer la demanda concentrada puede implicar una sobrevaloración de la reducción del recurso disponible asociada a considerar caudales mínimos superior a la real, pero de un orden de magnitud similar.

3.3. MODELO DE OPTIMIZACIÓN DE LA GESTIÓN DEL SISTEMA DE EXPLOTACIÓN.

Una vez definido el sistema de explotación simplificado de cada demarcación hidrográfica y cada uno de los elementos que lo integran de acuerdo con los criterios anteriormente expuestos, es necesario reproducir su comportamiento para determinar el recurso disponible. Para ello se ha empleado el modelo OPTIGES, desarrollado por la Universidad Politécnica de Valencia e integrado en el entorno AQUATOOLDMA, de uso generalizado en los trabajos de planificación hidrológica en España. Se exponen aquí únicamente sus características principales, remitiendo a las referencias bibliográficas para información más detallada (Andreu, 1993; Solera et al , 2007).

El modelo OPTIGES es un modelo de optimización de la gestión de un sistema de recursos hidráulicos. Esto supone que el modelo selecciona la gestión óptima, entendiendo por tal aquella que minimiza una función objetivo definida según se indica más adelante. Es decir, a diferencia de lo que sucedería si se empleara un procedimiento de simulación, no es necesario definir previamente unas reglas de explotación, sino que será el propio modelo el que las decida para alcanzar los objetivos definidos por el usuario.

El modelo acepta esquemas de recursos hidráulicos definidos mediante nudos sin capacidad de almacenamiento, nudos embalse, conducciones simples, demandas, retornos y entradas hidrológicas.



Para embalses se deben facilitar las capacidades máxima y mínima a nivel mensual, así como las tablas que relacionan cotas con volúmenes y superficies de lámina libre y valores mensuales de evaporación, tal como se ha indicado en el apartado dedicado a embalses. También es necesario definir una prioridad de almacenamiento entre los embalses del sistema, de manera que el modelo intentará maximizar las reservas al final de cada período de simulación en los embalses cuyo número de prioridad sea más bajo. En el presente trabajo tal prioridad se ha definido de manera creciente desde aguas arriba hacia aguas abajo, es decir, se ha intentado maximizar el volumen almacenado al final del período de optimización en los embalses situados más aguas arriba en la cuenca.

En las conducciones, que pueden ser bien tramos de río o bien conducciones artificiales, se deben definir los caudales máximos y mínimos a nivel mensual. También se pueden establecer prioridades entre los diferentes tramos de río con caudal mínimo. En el presente estudio se ha asignado la misma prioridad a todos los tramos en los que se ha considerado caudal mínimo.

En las demandas es necesario definir la demanda a nivel mensual, según se ha indicado en el apartado correspondiente, y una prioridad para cada demanda. En los sistemas analizados en el presente trabajo se ha considerado una sola demanda al final de cada cuenca o, en su caso, subcuenca, por los motivos detallados en el epígrafe dedicado a demandas. Por ello, en la mayoría de los casos, las demandas son independientes entre sí, por lo que su prioridad resulta irrelevante al no existir competencia entre ellas, puesto que la cuenca o subcuenca de alimentación de cada una de ellas no puede abastecer a ninguna de las restantes demandas. Sin embargo, algunos sistemas cuentan con conducciones artificiales que conectan dos o más cuencas o subcuencas, como es el caso de la demarcación hidrográfica del Cantábrico Occidental o la del Guadalquivir, que hacen que dos o más demandas entren en competencia por los mismos recursos. En estos casos se han establecido prioridades para las demandas que comparten el origen del suministro, de forma que se asigna la máxima prioridad a la demanda desde cuya cuenca o subcuenca parte la conducción artificial y la prioridad, para las demandas cuyas cuencas o subcuencas son receptoras de la conducción, va descendiendo según se avanza hacia aguas abajo por la misma. De este modo, se da prioridad a que los recursos hídricos se empleen en la propia cuenca o subcuenca de origen.

Tanto los caudales mínimos de las conducciones como las demandas se pueden dividir en varios niveles. La finalidad de esta división en niveles es que, en caso de producirse déficit, éstos no se concentren en uno o varios tramos o en las demandas con menor prioridad, sino que se vayan cubriendo niveles básicos de todos ellos antes de satisfacer niveles superiores de algunos.

Para los caudales mínimos se han definido cuatro niveles con los siguientes valores: 50%, 70%, 90% y 100%. De este modo, el déficit se repartirá entre todos los tramos posibles en lugar de acumularse en uno solo.

Para las demandas, los niveles establecidos permiten repartir el déficit entre aquellas demandas que se encuentran conectadas y evitan así que dicho déficit dé lugar a fallo. Para optimizar este efecto, se han establecido estos niveles en función de los umbrales de fallo adoptados para las demandas variables, puesto que en demandas uniformes no se admiten fallos. De acuerdo con el criterio de garantía empleado para demanda variable, el primer nivel, fijado en el 50%, garantiza el umbral relativo al déficit de un año (<50% demanda anual); el segundo nivel: 62,5% hace cumplir la garantía relativa al déficit de dos años consecutivos (<75% demanda anual); el tercer nivel, establecido en el 90%, asegura un déficit inferior al umbral relativo al de diez años consecutivos (<100% demanda anual).

La optimización de la gestión del sistema para un período de N años es realizada por el modelo minimizando la función objetivo siguiente:

$$\sum_{t=1}^{N-12} \left[\sum_{i=1}^{n_c} \sum_{j=1}^{n_n} \alpha_{i,j} \cdot d_{i,j,t} + \sum_{i=1}^{n_d} \sum_{j=1}^{n_n'} \beta_{i,j} \cdot d'_{i,j,t} \right] - \sum_{i=1}^{n_e} \delta_i \cdot V_{i,N-12}$$

donde:

- n_c es el número de conducciones en el esquema, cada una de ellas con el caudal mínimo dividido en n_i niveles.
- n_d es el número de demandas en el esquema, cada una de ellas con la demanda dividida en n_i niveles.
- n_e es el número de embalses en el esquema.
- $\alpha_{i,j}$ es el factor de ponderación asignado al posible déficit $d_{i,j,t}$ del nivel j del caudal mínimo de la conducción i en el mes t .
- $\beta_{i,j}$ es el factor de ponderación asignado al posible déficit $d'_{i,j,t}$ del nivel j de la demanda i en el mes t .

Esta función objetivo es lineal. El proceso de optimización trata de minimizar la suma ponderada de déficit de caudales ecológicos, déficit de suministro a zonas de demanda, y de maximizar el volumen almacenado en embalses, $V_{i,N-12}$, al final de cada período de optimización elegido. Los factores de ponderación son controlados por el usuario.

En el caso del presente estudio, teniendo en cuenta que el periodo de optimización es aquel periodo para el que el modelo considera conocidas las aportaciones, se ha adoptado 1 año como periodo de optimización, tiempo que permite aproximarse a la realidad de la explotación, puesto que las aportaciones a largo plazo son desconocidas y por tanto en la gestión real de un sistema no es posible tenerlas en cuenta. Considerar un periodo de optimización mayor equivale a suponer un grado de conocimiento de las aportaciones mensuales futuras totalmente alejado de la realidad, aunque podría lograr una mejor optimización interanual de los recursos disponibles.

La combinación de factores de ponderación adoptada en este trabajo da prioridad a minimizar el déficit de los caudales ecológicos antes que el déficit de las demandas.

La optimización de la función objetivo se realiza sujeta a las restricciones siguientes:

- La suma de caudales entrantes en cualquier nudo corriente de la red ha de ser igual a la suma de caudales salientes del mismo para cada mes.
- En los embalses, para cada mes, la suma de volúmenes entrantes más el volumen embalsado a principio del mes ha de ser igual a la suma de volúmenes salientes (incluso evaporación) más el volumen embalsado al final de mes.
- El caudal circulante por una conducción ha de ser menor que la capacidad máxima de la conducción para el mes en cuestión.
- Además, todas las variables, tales como volúmenes de embalse, caudal circulantes por conducciones y volumen suministrado a demandas han de ser positivas o nulas, y estar en los rangos de validez declarados.

Puesto que estas restricciones son también lineales y el esquema de cuenca es, en definitiva, una red de flujo, se utiliza para la optimización el algoritmo Out-of-Kilter. Para ello, el modelo configura, a partir del esquema del usuario y en base a los datos físicos y de prioridades sobre el sistema, una red de flujo interna. La confección de esta red y su posterior optimización mediante el uso de un algoritmo de redes de flujo conservativas sirve para:



- Introducir la dimensión temporal. La red de flujo interna es una multiplicación del esquema del usuario que abarca los N años del período a optimizar. Las redes de un mes y la del siguiente están unidas por arcos de transferencia de agua de un mes a otro debidos a los elementos de almacenamiento.
- Contemplar las restricciones físicas del sistema: mantenimiento del balance de masas, de la ecuación de continuidad, capacidades máximas de las conducciones, de los embalses, etc.
- Introducir las prioridades entre las distintas demandas y entre los distintos niveles de las mismas, incluidas las demandas de caudal mínimo en tramos de río.
- Encontrar aquella solución de gestión que satisface al máximo las demandas, teniendo en cuenta las mencionadas prioridades en caso de escasez.

Esta red interna del modelo no trasciende al usuario en ningún momento, salvo que esté interesado en ello.

Al existir en la modelación procesos no lineales, como son el cálculo de la evaporación en embalses y los retornos de las demandas, se recurre a la resolución iterativa de la red resultante hasta alcanzar la convergencia del proceso.

El modelo OPTIGES proporciona resultados a través de ficheros ASCII. Proporciona los valores de todas las variables de interés para cada mes del horizonte organizados por años hidrológicos y los valores medios durante el horizonte de dichos resultados. Además de los valores medios, se obtienen diversos índices de interés para la evaluación de las prestaciones del sistema, como son:

- Para embalses: el número de llenados y vaciados, en valor absoluto y en tanto por ciento de meses.
- Para conducciones: proporciona el número de fallos de caudales mínimos, así como la garantía, definida como:

$$G_e = 1 - \left(\frac{\text{nº de fallos}}{\text{nº de meses totales}} \right) \cdot 100 \quad (\text{en } \%)$$

Un fallo se produce siempre que el caudal circulante sea menor que el caudal mínimo definido por el usuario y que el déficit consiguiente sea mayor que A% de dicho caudal mínimo.

Proporciona además una agrupación de los fallos por magnitud, de forma que un fallo de magnitud 1 corresponde a una violación de caudal mínimo con un caudal inferior al primer nivel definido por el usuario, un fallo de magnitud 2 corresponde a un caudal circulante inferior al segundo nivel definido por el usuario, pero superior al primer nivel, etcétera. De esta forma, los fallos más severos son los de magnitud 1 y los más suaves los de magnitud 4.

- Para las demandas el resumen proporciona también los siguientes criterios de comportamiento:
 - Garantía mensual, definida como:

$$G_m = 1 - \left(\frac{\text{nº de fallos}}{\text{nº de meses totales}} \right) \cdot 100 \quad (\text{en } \%)$$

considerando como fallo un mes con un déficit mayor que B% de la demanda mensual.



- Garantía volumétrica, definida como:

$$G_v = \frac{\text{volumen suministrado}}{\text{volumen total demandado}} \cdot 100 \quad (\text{en } \%)$$

- El máximo déficit en un mes y el máximo déficit en dos meses consecutivos.
- La garantía anual, definida como:

$$G_a = 1 - \left(\frac{\text{nº de fallos anuales}}{\text{nº de años}} \right) \cdot 100 \quad (\text{en } \%)$$

Se considera que se produce un fallo anual cuando dentro de un año el déficit en un mes es superior al C% de la demanda mensual, o el déficit total anual es superior al D% de la demanda total anual.

- El número de fallos según un criterio que considera como fallo cuando se produce alguna de las tres circunstancias siguientes:
 - El déficit en un año supera el E% de la demanda anual.
 - El déficit en dos años consecutivos supera el F% de la demanda anual.
 - El déficit en diez años consecutivos supera el G% de la demanda anual.
- El número de fallos según un criterio que considera como fallo cuando se produce alguna de las dos circunstancias siguientes:
 - El déficit en un mes supera el H% de la demanda mensual.
 - El déficit en diez años consecutivos supera el I% de la demanda anual.

Los coeficientes A, B, C, D, E, F, G, H e I mencionados arriba son suministrados por el usuario para cada demanda.

Como ya se ha indicado en el apartado 3.2.3.2, en este trabajo la garantía establecida para las demandas uniformes ha sido del 100% mensual, considerando como fallo un mes con cualquier déficit (B = 0%), mientras que las demandas variables admiten un déficit del 50% de la demanda anual en un año, un déficit del 75% de la demanda anual acumulado en dos años consecutivos y un déficit del 100% de la demanda anual acumulada en 10 años consecutivos (E = 50%, F = 75% y G = 100%).

Para los caudales ecológicos, como se ha mencionado en el apartado 3.2.5.2, se adopta un valor del 0% para A (un caudal circulante menor que el caudal mínimo provoca un fallo) y se establecen las mismas garantías que se tendrían en el sistema en situación de régimen natural. Es decir, en cada caso y para cada tramo la garantía de caudal ecológico puede adoptar un valor diferente.

La aplicación del modelo OPTIGES en un sistema de explotación dado (series de aportaciones en régimen natural, infraestructuras: embalses y conducciones, caudales ecológicos y demanda concentrada) permite verificar si es posible atender la demanda supuesta con el criterio de garantía especificado, suministrando los caudales mínimos con el criterio de garantía antes indicado.

3.4. PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO DEL RECURSO DISPONIBLE Y ANÁLISIS REALIZADOS.

Una vez expuestos en los apartados precedentes los criterios para definir el sistema de explotación simplificado con demanda concentrada de una demarcación hidrográfica, cada uno de los elementos que lo integran, así como el modelo de optimización empleado para



reproducir el comportamiento del sistema, se detalla a continuación el procedimiento seguido para el cálculo del recurso disponible junto con la forma de presentación de los resultados obtenidos. Se indica también el análisis realizado de la incertidumbre debida a los datos de partida, así como la consideración dada a los caudales mínimos.

Una vez definido el sistema de explotación simplificado de cada demarcación hidrográfica e introducidos los datos físicos de las infraestructuras (embalses y conducciones), modulación de demanda y caudales mínimos, se procede a la obtención de los restantes datos necesarios para ejecutar la simulación, es decir, las aportaciones y la evaporación en los embalses.

Para cada punto de aportación definido en el sistema de explotación se obtienen todas las aportaciones mensuales del periodo de estudio, correspondientes a la intercuenca limitada por dicho punto y todos los situados inmediatamente aguas arriba del mismo. Para ello se ha desarrollado una aplicación sobre el sistema de información geográfica ArcGIS que las calcula a partir de las capas raster de aportaciones mensuales en régimen natural acumuladas a lo largo de la red de drenaje (resultados del modelo SIMPA), tal como se ha indicado en el apartado de aportaciones. Puesto que cada período consta de 30 años naturales, que se traducen en 29 años hidrológicos, en cada punto es necesario obtener una serie de 348 valores mensuales para cada proyección y período.

Mediante la misma aplicación, se obtienen los valores mensuales medios de evaporación para el periodo de estudio en los embalses definidos, a partir igualmente de las capas raster de evapotranspiración potencial mensual obtenidas como resultado de la aplicación del modelo SIMPA, según se ha detallado en el apartado correspondiente a embalses. Para cada embalse se obtiene una serie de 12 valores medios mensuales para cada proyección y período.

Los valores de ambas variables son incorporados al modelo del sistema de explotación de manera automática mediante una aplicación desarrollada específicamente e incorporada en Aquatool. Tras este paso, el modelo del sistema está completo y preparado para proceder al cálculo del recurso disponible.

Dicho cálculo se realiza mediante una optimización en cadena dirigida por un algoritmo de búsqueda, que se materializa mediante una aplicación desarrollada específicamente e incorporada también en Aquatool que, tras asignar un valor determinado a la demanda del esquema definido, ejecuta el programa OPTIGES de optimización, lee los resultados del mismo y según las garantías que estos arrojen modifica la demanda y vuelve a repetir los pasos mencionados, acercándose así paso a paso a la máxima demanda que el sistema es capaz de satisfacer cumpliendo con las garantías establecidas. El cálculo del recurso disponible para cada proyección y período requiere, por tanto, múltiples ejecuciones del modelo de optimización.

La demanda anual inicial de la que parte la aplicación es un valor muy pequeño ($1 \text{ hm}^3/\text{año}$), de modo que si alguna de las garantías establecidas en el sistema de explotación no se cumple, se considera que el recurso disponible en tal caso es nulo y se concluye la búsqueda. Si por el contrario todas las garantías adoptadas se cumplen, la demanda adopta un valor de $10.000 \text{ hm}^3/\text{año}$ y con ella comienza la segunda iteración. Mientras todas las garantías se cumplan, la demanda se incrementará, adoptando el valor: $D_i + (10.000 \text{ hm}^3/\text{año}) / 2^{(i-1)}$, siendo D_i la demanda e i el número de iteración correspondientes a la última simulación realizada. En el momento en que alguna de las garantías establecidas en el sistema de explotación no se cumpla, bien de demandas o bien de caudales ecológicos, la demanda se reducirá a: $D_i - (10.000 \text{ hm}^3/\text{año}) / 2^{(i-1)}$, siendo D_i la demanda e i el número de iteración correspondientes a la simulación en que las garantías fallan. Este algoritmo se repite hasta que la diferencia entre el valor de las demandas de dos iteraciones consecutivas es inferior a $2 \text{ hm}^3/\text{año}$, valor que se adopta como error del resultado. La demanda anual se distribuye mensualmente de acuerdo



con la modulación supuesta, que ya se ha indicado en el apartado correspondiente a demandas. El recurso disponible es la demanda resultado del proceso iterativo.

Cuando en el sistema existen varias demandas, la aplicación parte con valores nulos para todas ellas y las incrementa una a una según las prioridades definidas en el esquema de acuerdo con el procedimiento iterativo descrito. Obtenido el resultado para una demanda, la aplicación fija este valor y continúa aplicando el algoritmo expuesto a las restantes demandas según el orden definido. El recurso disponible en este caso es la suma de los valores finales de las demandas. A cada proyección, período y modulación de demanda le corresponde un solo valor del recurso disponible.

El cálculo del recurso disponible para cada proyección debe realizarse tanto en los períodos futuros como en el de control. El resultado del estudio es la evolución del recurso disponible en el tiempo (desde el año 2011 hasta el año 2100) con respecto al período de control. Por ello, en una demarcación, para cada proyección y período se calcula el porcentaje de variación del recurso disponible con respecto al período de control correspondiente, tomando este como base.

Teniendo en cuenta que en el período de control coinciden los escenarios A2 y B2, y que seis de las 12 proyecciones sólo contemplan los períodos P1 y P4, el número total de situaciones en las que es necesario calcular el recurso disponible en cada demarcación es de 30 para cada modulación de demanda. Puesto que se consideran dos modulaciones por demarcación, uniforme y variable, el número mínimo de situaciones en las que es necesario calcular el recurso disponible es de 60.

Sin embargo, se ha considerado de gran interés calcular también el recurso disponible en cada demarcación con la serie de aportaciones obtenida aplicando el modelo SIMPA con los datos climáticos realmente observados en el período de control y compararlo con el valor calculado para cada proyección en dicho período. El interés de este análisis reside en disponer de una estimación de la incertidumbre de partida asociada a la determinación del recurso disponible asociado a cada proyección. Esto incrementa el número de situaciones a analizar en dos en cada demarcación, una para demanda uniforme y otra para variable, de manera que el número mínimo por demarcación asciende a 62.

Como se ha indicado en el apartado de restricciones ambientales, en aquellas demarcaciones en las que se ha dispuesto de caudales ecológicos establecidos en la normativa de los borradores de los planes hidrológicos en fase de consulta pública o en más avanzado estado de tramitación, estos se han considerado en el período de control. El objetivo es calcular la reducción de recurso disponible que supone su consideración en el período de control y compararla con la afección que supone el efecto del cambio climático hasta el horizonte 2100. Ello da lugar a la definición de 18 situaciones adicionales en el período de control: seis simulaciones en régimen natural, sin infraestructura ni demanda alguna, para calcular la garantía mensual de los caudales mínimos en régimen natural, que será la que se exigirá en el resto de casos; seis simulaciones con demanda uniforme y seis con variable. Por tanto, en las demarcaciones con caudales mínimos definidos, el número de situaciones en las que es necesario calcular el recurso disponible es de 80. En la tabla siguiente se resumen las combinaciones a analizar en una demarcación para cada escenario de emisiones (el análisis en P1 solo es necesario realizarlo para un escenario).



EFEECTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LOS RECURSOS HÍDRICOS DISPONIBLES EN LOS SISTEMAS DE EXPLOTACIÓN

CEDEX

Modulación de demanda	Modelo de circulación global	Regionalización	Período				
			1961-1990 (P1)		2011-2040 (P2)	2041-2070 (P3)	2071-2100 (P4)
			Con caudal mínimo	Sin caudal mínimo			
Sin demandas y sin infraestructuras	CGCM2	Análogos-FIC	SI	NO	NO	NO	NO
	ECHAM4	Análogos-FIC	SI	NO	NO	NO	NO
	HadAM3	Análogos-FIC	SI	NO	NO	NO	NO
	HadCM3	SDSM	SI	NO	NO	NO	NO
	HadCM3	PROMES	SI	NO	NO	NO	NO
	ECHAM4	RCAO y proyecto PRUDENCE	SI	NO	NO	NO	NO
Uniforme	Datos climáticos observados		NO	SI	NO	NO	NO
	CGCM2	Análogos-FIC	SI	SI	SI	SI	SI
	ECHAM4	Análogos-FIC	SI	SI	SI	SI	SI
	HadAM3	Análogos-FIC	SI	SI	NO	NO	SI
	HadCM3	SDSM	SI	SI	SI	SI	SI
	HadCM3	PROMES	SI	SI	NO	NO	SI
	ECHAM4	RCAO y proyecto PRUDENCE	SI	SI	NO	NO	SI
Variable	Datos climáticos observados		NO	SI	NO	NO	NO
	CGCM2	Análogos-FIC	SI	SI	SI	SI	SI
	ECHAM4	Análogos-FIC	SI	SI	SI	SI	SI
	HadAM3	Análogos-FIC	SI	SI	NO	NO	SI
	HadCM3	SDSM	SI	SI	SI	SI	SI
	HadCM3	PROMES	SI	SI	NO	NO	SI
	ECHAM4	RCAO y proyecto PRUDENCE	SI	SI	NO	NO	SI

Tabla 4. Combinaciones a analizar en cada demarcación para la determinación del recurso disponible para cada escenario de emisiones (en P1 sólo se considera un escenario).

En definitiva, puesto que existen 15 demarcaciones hidrográficas y se dispone de información sobre caudales ecológicos en cinco de ellas, el número total de situaciones a considerar asciende a 1020. A su vez, para obtener el recurso disponible en cada una de esas situaciones es necesario un proceso iterativo de optimización, lo que incrementa muy notablemente el número de simulaciones a ejecutar.

En el apartado siguiente se resume el estudio realizado y los resultados obtenidos para cada demarcación hidrográfica, que incluye la consideración de la incertidumbre de partida, la evolución del recurso disponible en el tiempo respecto al período de control para cada proyección y, en su caso, la repercusión de la consideración de los caudales ecológicos en la situación actual y su comparación con el efecto del cambio climático a largo plazo.

La incertidumbre de partida se ha reflejado comparando en el período de control la serie anual de aportaciones en régimen natural resultante de la aplicación del modelo SIMPA a las distintas proyecciones y a los datos climáticos realmente observados, así como el valor del recurso disponible.

4. ANÁLISIS POR DEMARCACIONES HIDROGRÁFICAS.

Se expone primero el análisis realizado para las demarcaciones hidrográficas con cuencas intercomunitarias y después el correspondiente a las demarcaciones cuyas cuencas son intracomunitarias.

4.1. DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DEL CANTÁBRICO OCCIDENTAL

4.1.1. ELEMENTOS QUE INTEGRAN EL SISTEMA

4.1.1.1. APORTACIONES

En la Figura 7 se reflejan los 43 puntos considerados para el cálculo de las aportaciones de la demarcación del Cantábrico Occidental. La aportación así evaluada representa, dependiendo de la proyección, entre el 98% y el 99% de la aportación total de todos los cauces considerados en el modelo de optimización; por tanto, la aportación de la que se prescinde es irrelevante en el resultado.

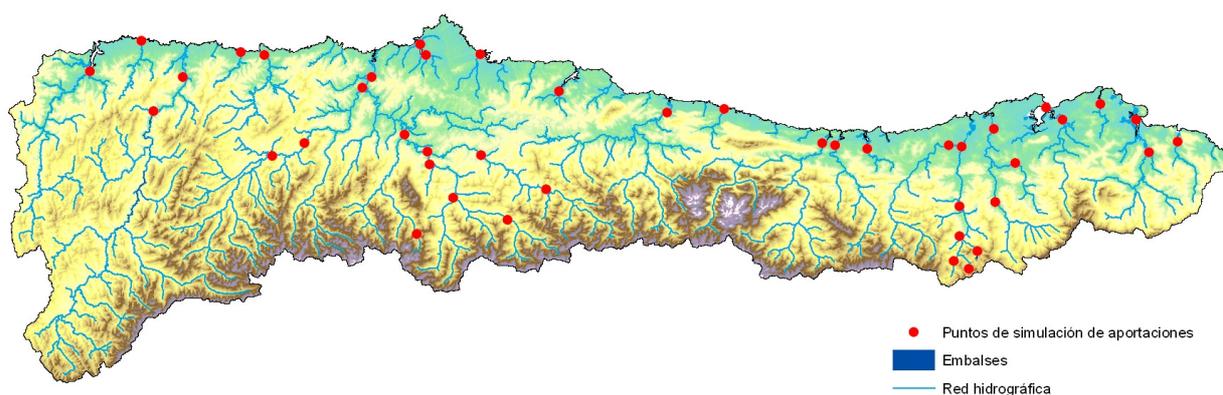


Figura 7. Demarcación hidrográfica del Cantábrico Occidental.

A continuación, en la Figura 8, se muestran las series anuales de aportaciones de cálculo para el periodo de control obtenidas con el modelo SIMPA tanto a partir de los datos climáticos derivados de los diferentes modelos de cambio climático como de datos climáticos observados.

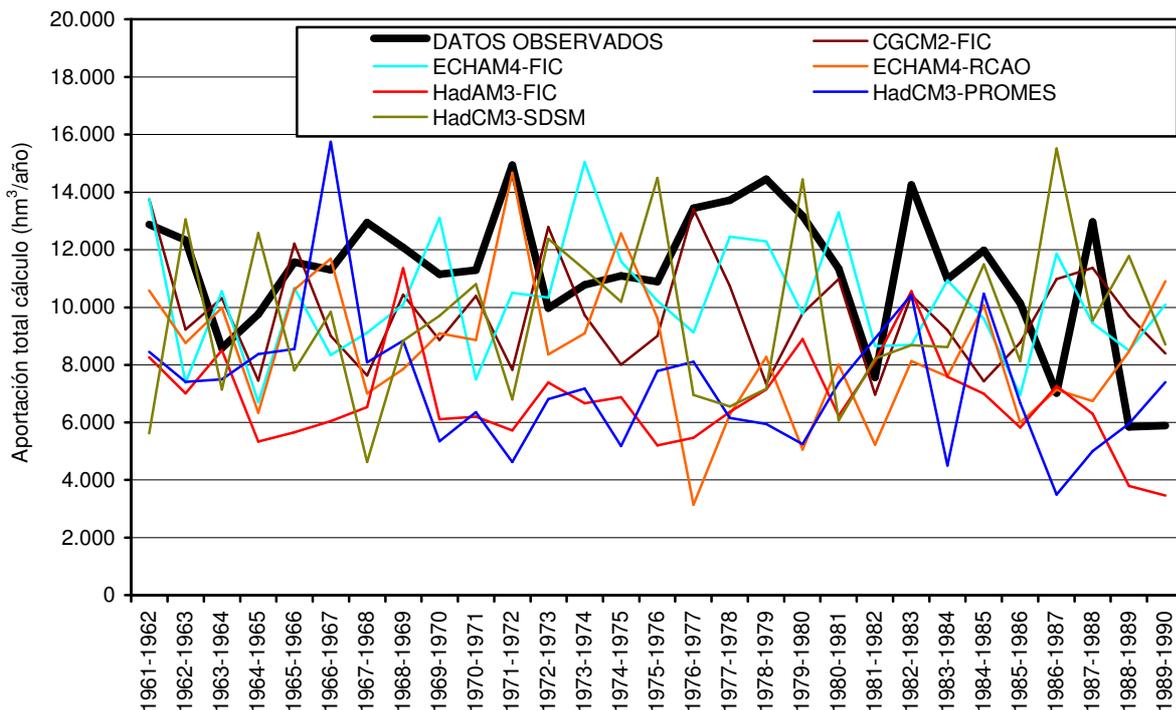


Figura 8. Series de aportación anual en el periodo de control (1961-1990) en la demarcación hidrográfica del Cantábrico Occidental.

El examen visual revela que para el período de control ninguna de las series de aportación derivadas de las proyecciones de cambio climático sigue un patrón de distribución similar a la serie resultante de los datos observados. Los valores de la aportación media anual de las series de cambio climático varían dentro de un rango que comprende desde 10.227 $\text{hm}^3/\text{año}$ en el modelo ECHAM4-FIC a 6.784 $\text{hm}^3/\text{año}$ para el modelo HadAM3-FIC, mientras que el valor medio anual de la serie obtenida a partir de los datos observados es de 11.182 $\text{hm}^3/\text{año}$. Asimismo, existe una gran variabilidad dentro de los modelos climáticos, por lo que no se puede extraer ninguna tendencia.

La evolución temporal de las aportaciones anuales para cada proyección climática a lo largo de los cuatro períodos considerados se recoge en el ANEJO1. En este mismo anejo también figuran los diagramas de cajas de las series de aportaciones anuales.

4.1.1.2. DEMANDAS

Para evaluar el recurso disponible de la demarcación se ha colocado al final de las diferentes cuencas englobadas en la demarcación del Cantábrico Occidental una demanda, como se aprecia en la Figura 10, según se ha detallado en el apartado 3.2.3.3.

4.1.1.3. CAUDALES MÍNIMOS

En el caso de la demarcación del Cantábrico Occidental, a fecha del uno de mayo del 2011 no se ha habia publicado el borrador del Plan de Cuenca, por lo que no se han tenido en cuenta en el presente informe los valores de los caudales mínimos.

4.1.1.4. ELEMENTOS DE REGULACIÓN



En la demarcación del Cantábrico Occidental se han considerado 4 embalses que representan una capacidad media de 897 hm³ y se muestran en la Figura 7. Los embalses de Alsa, Doiras y Salime tienen aprovechamiento exclusivamente hidroeléctrico.

En la tabla siguiente se refleja el volumen máximo mensual de cada embalse (o grupo de embalses en su caso). Los volúmenes mínimos se han considerado despreciables.

EMBALSES	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep
Alsa	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22
Doiras y Salime	362	362	362	362	362	362	362	362	362	362	362	362
Ebro	513	513	513	513	513	513	513	513	513	513	513	513
TOTAL MENSUAL	897	897	897	897	897	897	897	897	897	897	897	897

Tabla 5. Embalses de la demarcación hidrográfica del Cantábrico Occidental. Distribución del volumen máximo mensual (hm³/mes).

El embalse del Ebro no pertenece a la demarcación del Cantábrico Occidental; sin embargo, puede utilizarse como elemento regulador de las aportaciones de dicha demarcación mediante el bitrasvase Ebro-Besaya. Como puede verse en los esquemas de cálculo que se incluyen en el apartado correspondiente, se ha considerado este embalse exclusivamente como un depósito regulador de recursos propios de la demarcación del Cantábrico Occidental sin aportación natural propia. Contar con esta capacidad de regulación en una cuenca en la que prácticamente no se dispone de ella, puede ser relevante para la determinación del recurso disponible.

Se han considerado todas las posibilidades de suministro al embalse del Ebro: por gravedad, desde el azud de Aguayo, y por bombeo, asociado al nuevo bitrasvase, bien desde Corrales de Buelna o desde Lanrtueno e Hiirviensa. Previsiblemente sólo puede resultar relevante a efectos de recurso disponible, el bombeo desde Corrales de Buelna debnioda lreducida aportación propia de las otras dos captaciones. Se ha introducido un coste en la conducción desde Corrales de Buelna, que representa la gran altura de bombeo requerida. No se han tenido en cuenta costes en la conducción de retorno desde el embalse del Ebro.

4.1.1.5. CONDUCCIONES

En la siguiente tabla se indican las capacidades de las conducciones consideradas en el esquema de la demarcación del Cantábrico Occidental; por medio de estas conducciones se han intentado reproducir las posibilidades de circulación dentro de la demarcación: plan de abastecimiento del Occidente asturiano, bitrasvase Ebro-Besaya y "autovía del agua". Cuando el caudal máximo aparece como sin limitación se trata de conducciones cuya capacidad no influye en el cálculo del recurso disponible.

Nombre conducción	Qmax (hm ³ /mes)
Conducción Occidente Asturiano ³	0,8

³ Esta conducción representa la derivación desde el embalse de Arbón para abastecer la zona occidental de Asturias.



Nombre conducción	Qmax (hm ³ /mes)
Canal del Narcea	Sin limitación
Canal del Áramo	Sin limitación
Red de Abastecimiento del Consorcio de Aguas de Asturias (CADASA)	Sin limitación
“Autovía del agua” desde el Plan Deva hasta el Plan Santillana	Sin limitación
“Autovía del agua” desde la ETAP Santander hasta el Plan castro Urdiales	2,2
Bombeo Hirvienza + Lantueno	5,7
Conducción Aguayo-Embalse del Ebro	Sin limitación
Conducción Tunnel de las Nieves	10,4
Conducción desde el Deposito de Bifurcación hasta la ETAP Santander	10
Conducción desde el Deposito de Bifurcación hasta Torrelavega	Sin limitación
Conducción Corrales de Buelna-Embalse del Ebro	1,8
Abastecimiento de Torrelavega desde Corrales de Buelna	Sin limitación

Tabla 6. Capacidad máxima de las conducciones consideradas en la demarcación del Cantábrico Occidental.

4.1.2. ESQUEMA DE CÁLCULO

En la Figura 9 se muestra el esquema completo de la demarcación del Cantábrico Occidental donde aparecen todas las demandas distribuidas.

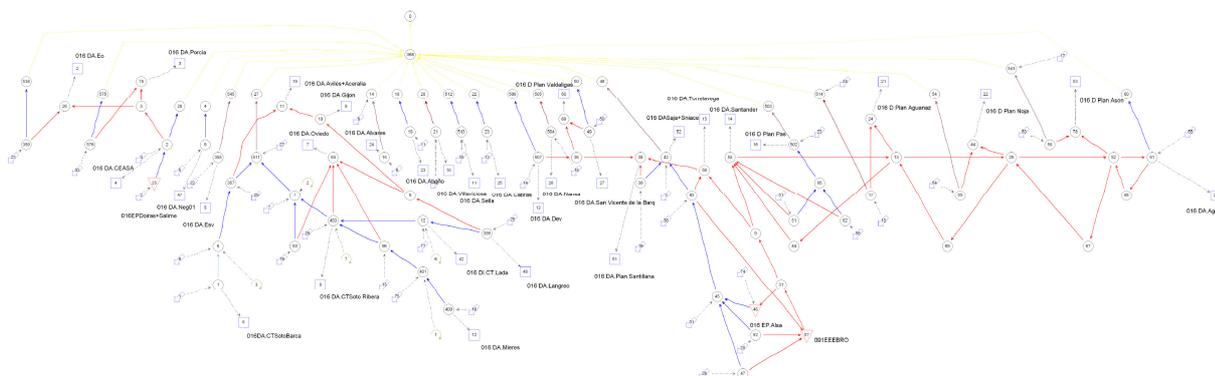


Figura 9. Esquema completo de optimización de la demarcación del Cantábrico Occidental. Demanda distribuida

Para el cálculo del recurso disponible, según se indica en el apartado 3.2.3, se ha sustituido el conjunto de demandas por una única demanda al final de la cuenca, como se muestra en la Figura 10.

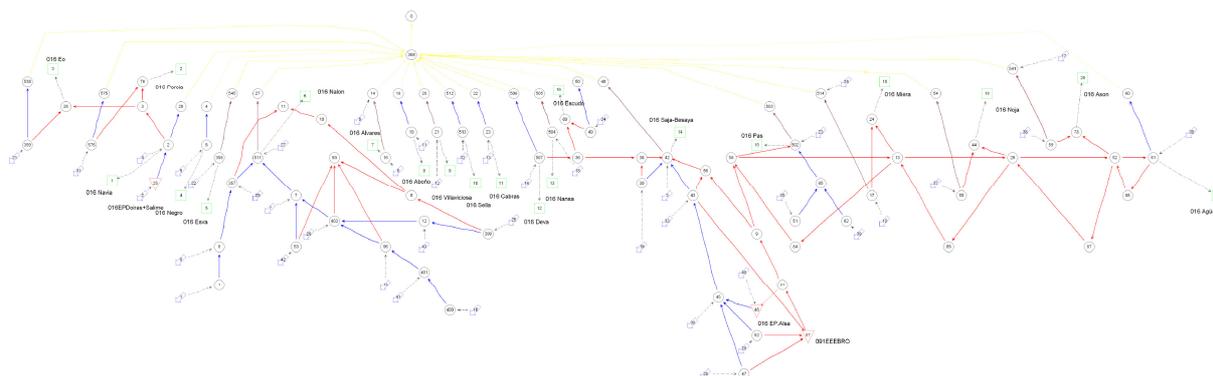


Figura 10. Esquema completo de optimización de la demarcación del Cantábrico Occidental. Demanda concentrada

4.1.3. RESULTADOS

4.1.3.1. PERÍODO DE CONTROL: COMPARACIÓN ENTRE LOS RESULTADOS OBTENIDOS A PARTIR DE DIFERENTES PROYECCIONES Y DE DATOS OBSERVADOS.

En la Figura 11 se muestran las desviaciones de las estimaciones de la aportación anual media en régimen natural y del RD calculadas a partir de los diferentes modelos de cambio climático respecto a las estimaciones obtenidas con datos observados, que se han tomado como referencia (eje de abscisas). El RD se ha obtenido tanto para demanda uniforme como variable.

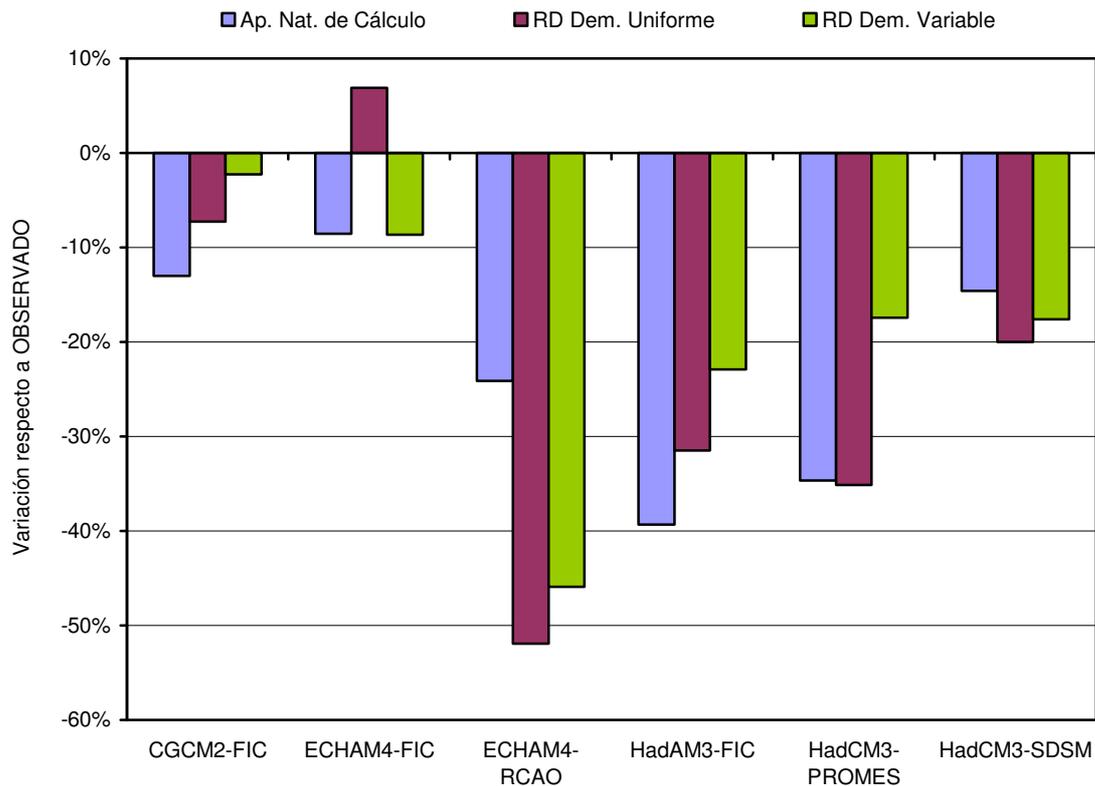


Figura 11. Desviación de las estimaciones de la aportación anual media y el recurso disponible de los diferentes modelos climáticos respecto a los datos observados en la demarcación hidrográfica del Cantábrico Occidental.

En varios modelos se aprecia una gran sensibilidad al tipo de demanda en la variación del RD. El caso más acusado es el del modelo ECHAM4-FIC, donde se produce un incremento (7%) del RD para demanda uniforme y una reducción (-9%) para demanda variable. En este caso, la aportación y el recurso disponible con demanda variable tienen el mismo comportamiento con respecto a las series de los datos observados, previsiblemente debido a la variabilidad intraanual.

En el resto de los modelos, la reducción del valor medio de la aportación anual con respecto a los datos observados oscila entre 18% y 38%. La variación del RD para demanda uniforme oscila entre un incremento del 7% y una reducción del 52% y para demanda variable la reducción varía entre 3% y 46%. La reducción del RD es mayor para demanda uniforme que para variable salvo con el modelo ECHAM4-FIC. La reducción del RD es superior a la del recurso natural en varios modelos, lo cual puede explicarse por la mayor irregularidad de las aportaciones y por la escasa regulación de la cuenca.

4.1.3.2. EVOLUCIÓN DEL RECURSO DISPONIBLE CON RESPECTO AL PERÍODO DE CONTROL PARA LAS DISTINTAS PROYECCIONES

En la Tabla 7 y en la Tabla 8 se muestra, para cada tipo de demanda, la variación del RD respecto al periodo de control (1961-1990) para cada uno de los modelos y periodos estudiados: P2 (2011-2040), P3 (2041-2070) y P4 (2071-2100). Según el grado de variación del RD, la celda aparece en verde (incremento), naranja (reducción inferior al 20%) o rojo (reducción superior al 20%).

Esc	Periodo	CGCM2-FIC	ECHAM4-FIC	HadAM3-FIC	HadCM3-SDSM	HadCM3-PROMES	ECHAM4-RCAO	Media
A2	2011-2040	-19	-35		-26			-27
	2041-2070	-20	-38		-33			-30
	2071-2100	-20	-48	-10	-48	-47	-40	-36
B2	2011-2040	-5	-25		-25			-18
	2041-2070	-20	-36		-34			-30
	2071-2100	-10	-42	-14	-33	-32	-23	-26

Tabla 7. Variación del recurso disponible (%) para demanda uniforme en cada periodo respecto al período de control en la demarcación hidrográfica del Cantábrico Occidental.

Esc	Periodo	CGCM2-FIC	ECHAM4-FIC	HadAM3-FIC	HadCM3-SDSM	HadCM3-PROMES	ECHAM4-RCAO	Media
A2	2011-2040	-15	-23		-25			-21
	2041-2070	-23	-30		-32			-28
	2071-2100	-23	-40	-20	-48	-36	-37	-34
B2	2011-2040	-10	-13		-15			-13
	2041-2070	-19	-26		-29			-25
	2071-2100	-13	-31	-6	-34	-33	-24	-24

Tabla 8. Variación del recurso disponible (%) para demanda variable en cada periodo respecto al período de control en la demarcación hidrográfica del Cantábrico Occidental.

En la Figura 12 se representan los resultados anteriores junto con la evolución de la aportación media anual.

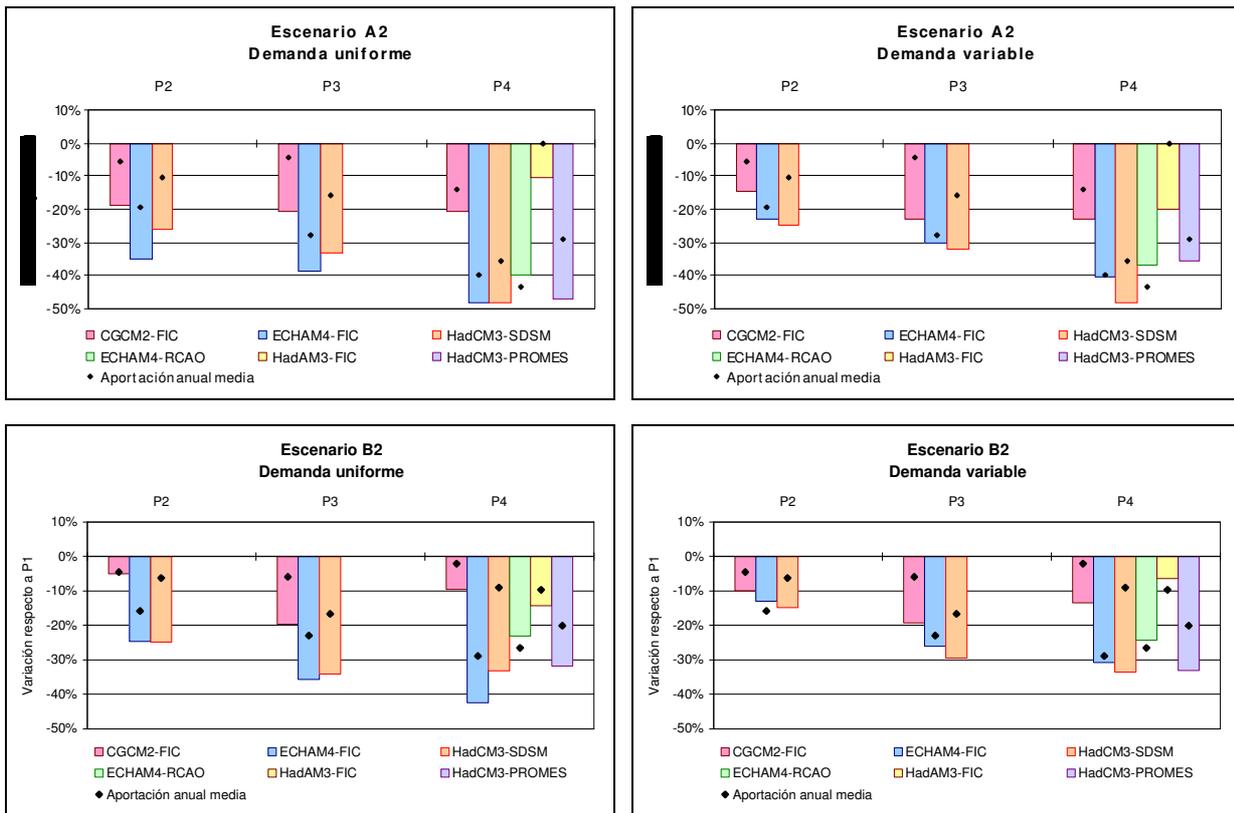


Figura 12. Evolución de la variación del recurso disponible (%) de P2 a P4 respecto al periodo de control (P1) en la demarcación hidrográfica del Cantábrico Occidental.

En general, si bien no se cumple en todos los modelos, los porcentajes de reducción del RD son menores en el escenario B2 que en el A2. Para un mismo escenario la reducción del RD es menor con demanda variable que con uniforme, si bien no hay grandes diferencias.

En el escenario A2 y B2 con demanda uniforme y variable hay una tendencia de reducción creciente y sostenida en los tres periodos en los modelos ECHAM4-FIC y HadCM3-SDSM. En cambio en el modelo CGCM2-FIC existe una tendencia a la estabilización a largo plazo en el escenario A2 y en el B2 una tendencia a la mejora a largo plazo, recuperando en P4 valores próximos a los de P2.

4.2. DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DEL CANTÁBRICO ORIENTAL

4.2.1. ELEMENTOS QUE INTEGRAN EL SISTEMA

4.2.1.1. APORTACIONES

En la Figura 13. Demarcación hidrográfica del Cantábrico Oriental se reflejan los 26 puntos utilizados para el cálculo de las aportaciones en la demarcación del Cantábrico Oriental. La aportación considerada en el cálculo representa, dependiendo de la proyección climática de que se trate, entre el 89% y el 94% de la aportación total de los cauces considerados en el modelo de optimización.

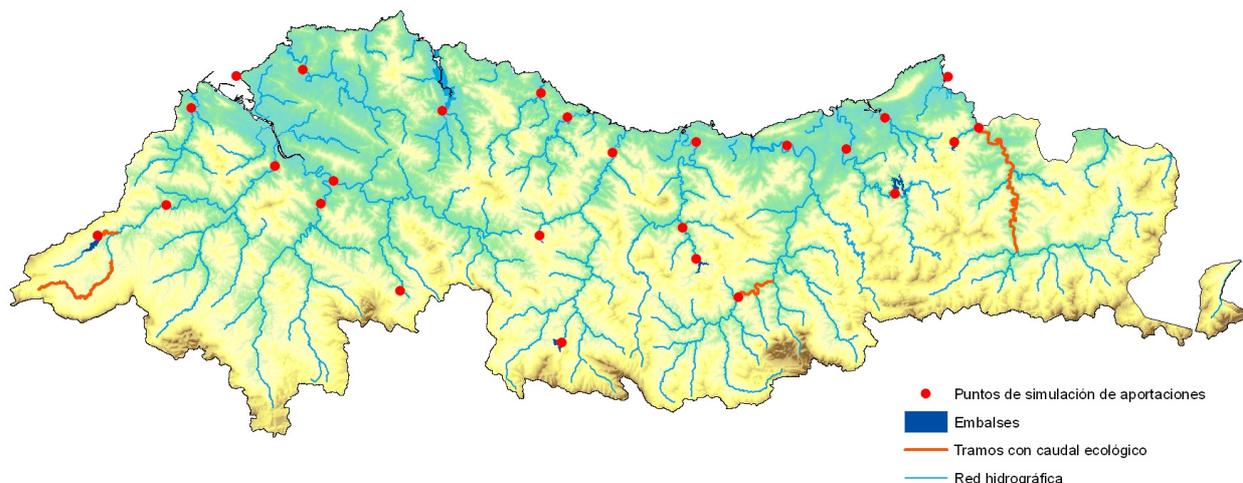


Figura 13. Demarcación hidrográfica del Cantábrego Oriental

En la Figura 14. Series de aportación anual en el periodo de control (1961-1990) en la demarcación hidrográfica del Cantábrego Oriental se muestran las series anuales de aportaciones de cálculo para el periodo de control, obtenidas con el modelo SIMPA a partir de los datos climáticos resultantes de los diferentes modelos de cambio climático y a partir de datos climáticos observados.

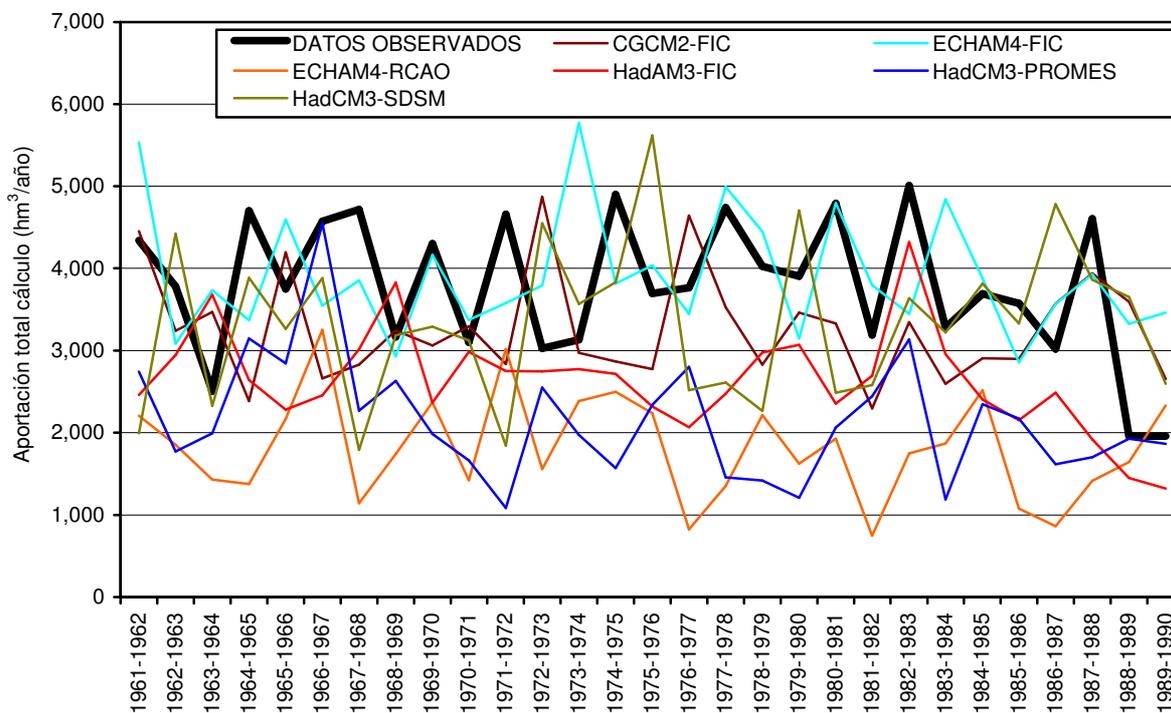


Figura 14. Series de aportación anual en el periodo de control (1961-1990) en la demarcación hidrográfica del Cantábrego Oriental



Puede comprobarse que ninguna de las series de aportación derivadas de los modelos de cambio climático sigue un patrón similar a la simulada a partir de los datos observados. La aportación anual media de las series de cambio climático varían entre 3.900 hm³/año para el modelo ECHAM4-FIC hasta 1.821 hm³/año para el modelo ECHAM4-RCAO. En cuanto al valor medio de las aportaciones en la serie calculada a partir de datos observados es de 3.789 hm³/año.

Además de existir diferencias significativas en magnitud tanto entre sí como con la serie procedente de datos observados, aparecen diferencias muy importantes en la distribución temporal. Esta incertidumbre en la evaluación del recurso natural se traslada, como es lógico, a la evaluación del recurso disponible.

La evolución temporal de las aportaciones anuales de cada uno de los modelos a lo largo de los cuatro períodos considerados se recoge en el Anejo 1. En este mismo anejo también figuran los diagramas de cajas de las series de aportaciones anuales.

4.2.1.2. DEMANDAS

Para evaluar el RD de la demarcación se ha colocado al final de las diferentes cuencas englobadas en la demarcación del Cantábrico Oriental una demanda que representa al conjunto de demandas de toda la cuenca. Cuando al final de la cuenca existe un tramo con caudal mínimo, la demanda se ha colocado aguas arriba del mismo, para tener en cuenta la limitación de las restricciones ambientales en el RD, como se aprecia en la Figura 16.

4.2.1.3. CAUDALES MÍNIMOS

Dentro de esta demarcación, a fecha 1 de mayo de 2011 solo se encontraba en consulta pública el borrador de Plan Hidrológico correspondiente a las Cuencas Internas del País Vasco, por lo que sólo se han considerado los caudales mínimos recogidos en esta parte de la demarcación, tal como se ha señalado en el apartado 3.2.5.2.

Los tramos considerados se muestran en la Figura 16 y las modulaciones de los caudales ambientales son las definidas en la Normativa del borrador del Plan de las Cuencas Internas del País Vasco y se indican en la siguiente tabla (m³/s). Sólo se han incluido caudales mínimos en los tramos en los que se han definido para la asignación y reserva de recursos del dicho Plan (Anejo VI de las Anejos a Memoria del borrador de Plan Hidrológico de las Cuencas Internas del País Vasco); dichos tramos se han considerado equivalentes a las masas estratégicas definidas en las demarcaciones con cuencas intercomunitarias.

Código masa	Código esquema	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP
ES111T075010	CE_Bar01	0,15	0,21	0,21	0,35	0,35	0,35	0,35	0,21	0,21	0,15	0,15	0,15
ES111R048020	CE_But01	0,24	0,33	0,33	0,61	0,61	0,61	0,61	0,33	0,33	0,24	0,24	0,24
ES111T046010	CE_Oca01	0,27	0,47	0,47	0,77	0,77	0,77	0,77	0,47	0,47	0,27	0,27	0,27
ES111T045010	CE_Lea01	0,18	0,39	0,39	0,58	0,58	0,58	0,58	0,39	0,39	0,18	0,18	0,18
ES111T044010	CE_Art01	0,16	0,32	0,32	0,41	0,41	0,41	0,41	0,32	0,32	0,16	0,16	0,16
ES111R042020	CE_Dba02	1,07	1,90	1,90	3,38	3,38	3,38	3,38	1,90	1,90	1,07	1,07	1,07
ES111R041010	CE_Aix01	0,03	0,05	0,05	0,07	0,07	0,07	0,07	0,05	0,05	0,03	0,03	0,03
ES111R040070	CE_Urc01	0,01	0,04	0,04	0,07	0,07	0,07	0,07	0,04	0,04	0,01	0,01	0,01
ES111R032020	CE_lbe02	0,15	0,29	0,29	0,60	0,60	0,60	0,60	0,29	0,29	0,15	0,15	0,15

Código masa	Código esquema	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP
ES111R014010	CE_Oya01	0,28	0,50	0,50	0,83	0,83	0,83	0,83	0,50	0,50	0,28	0,28	0,28

Tabla 9, Distribución de caudales mínimos considerados (m^3/s) en la demarcación hidrográfica del Cantábrico Oriental en las Cuencas Internas del País Vasco,

4.2.1.4. ELEMENTOS DE REGULACIÓN

En la demarcación del Cantábrico Oriental se han considerado 5 embalses, con una capacidad total de 122 hm^3 que se han reflejado en la Figura 7

En la tabla siguiente se refleja el volumen máximo mensual de cada embalse. Los volúmenes mínimos se han considerado despreciables,

EMBALSES	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep
Añarbe	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39
Endara	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42
Ibai-Eder	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Ordunte	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21
Urkulu	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
TOTAL MENSUAL	122	122	122	122	122	122	122	122	122	122	122	122

Tabla 10, Embalses de la demarcación hidrográfica del Cantábrico Oriental, Distribución del volumen máximo mensual (hm^3/mes),

4.2.1.5. CONDUCCIONES

En la siguiente tabla se indican las capacidades de las conducciones consideradas en el esquema de la demarcación del Cantábrico Oriental.

Nombre conducción	Qmax (hm^3/mes)
Conducción desde embalse de Ordunte para el abastecimiento de Bilbao	2
Bombeo de emergencia desde el Cadagua para el abastecimiento de Bilbao	2
Conducción desde el embalse de Undurraga hasta la ETAP de Venta Alta	6
Bombeo del Nervion a la conducción de Undurraga (Arrigorriaga)	1
Conducción desde la ETAP de Venta Alta para el abastecimiento de Bilbao	Sin limitación
Conducción desde el embalse de Urculu hasta el embalse de Aixola	0,4

Tabla 11. Capacidad máxima de las conducciones consideradas en la demarcación del Cantábrico Oriental,

En aquellas conducciones cuya capacidad aparece identificada como sin limitación, su capacidad no constituye un condicionante para la evaluación del RD.

4.2.2. ESQUEMA DE CÁLCULO

En la Figura 15 se muestra el esquema completo de la demarcación del Cantábrico Oriental donde aparecen todas las demandas distribuidas.

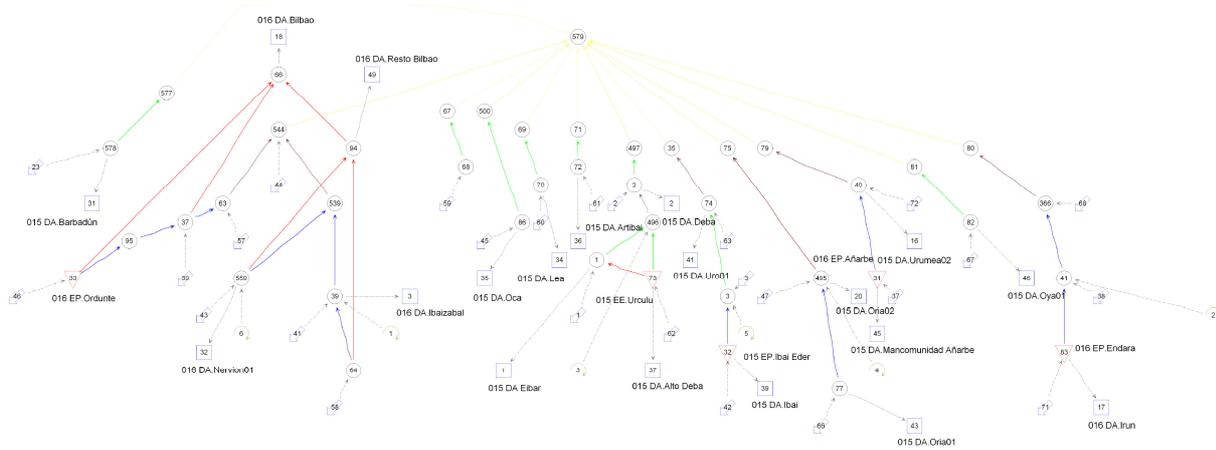


Figura 15. Esquema completo de optimización de la demarcación del Cantábrico Oriental. Demanda distribuida

Para el cálculo del recurso disponible, según se indica en el apartado 3.2.3 se ha sustituido el conjunto de demandas por una única demanda al final de cada cuenca de la demarcación, como se refleja en la Figura 16.

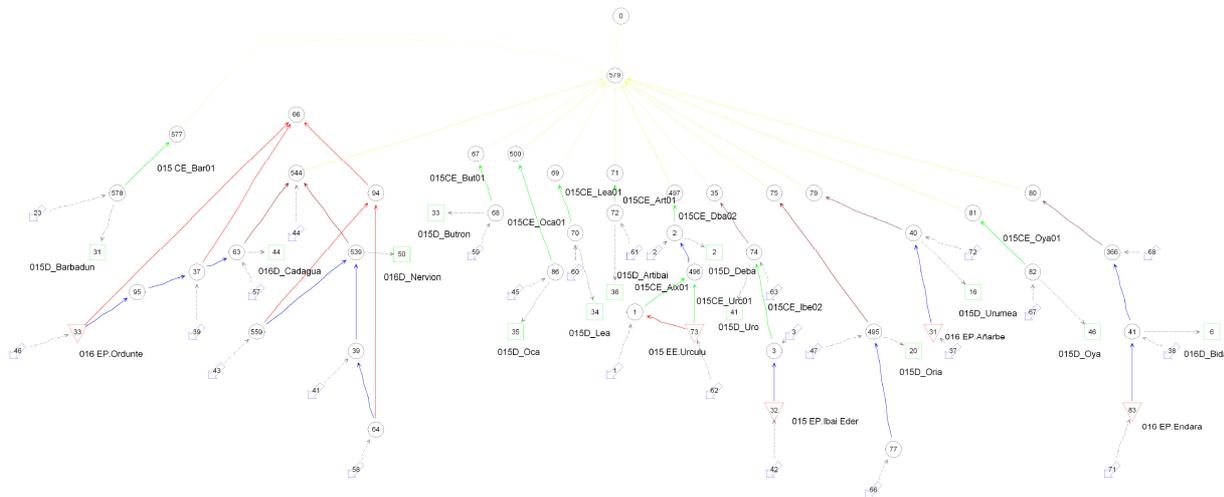


Figura 16 Esquema simplificado de optimización de la demarcación del Cantábrico Oriental. Demanda concentrada

4.2.3. RESULTADOS

4.2.3.1. PERÍODO DE CONTROL: COMPARACIÓN ENTRE LOS RESULTADOS OBTENIDOS A PARTIR DE DIFERENTES PROYECCIONES Y DE DATOS OBSERVADOS,

En la Figura 17 se muestran las desviaciones de las estimaciones de la aportación anual media y el RD, tanto para demanda uniforme como variable, de los diferentes modelos de cambio climático respecto a la estimación obtenida a partir de los datos climáticos observados, que se toma como referencia (eje de abscisas).

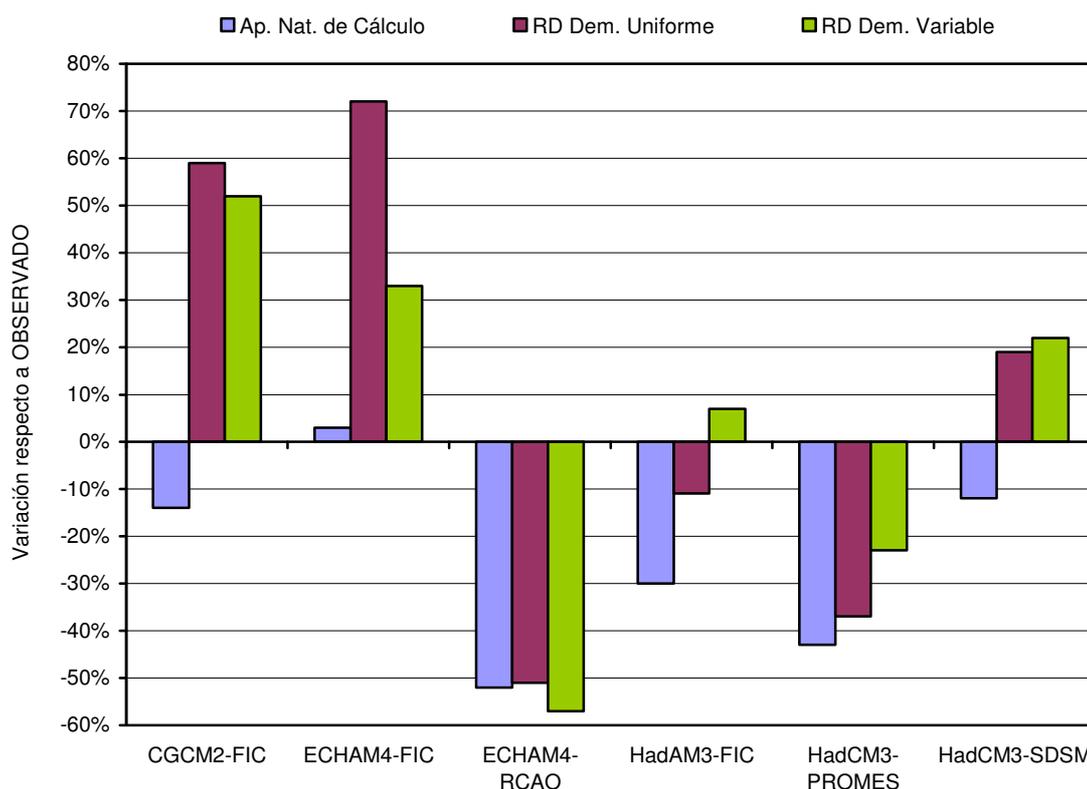


Figura 17. Desviación de las estimaciones de la aportación anual media y el recurso disponible de los diferentes modelos climáticos respecto a los datos observados en la demarcación hidrográfica del Cantábrico Oriental.

Los resultados son muy diversos. La aportación media y el RD varían en el mismo sentido respecto al período de control en tres casos (en dos se reducen ECHAM4-RCAO y HadCM3-PROMES y en uno aumentan, ECHAM4-FIC). En el resto, la aportación y el RD, dependiendo del tipo de demanda, no se modifican en el mismo sentido.

En el modelo CGCM2-FIC se produce un descenso de la aportación natural (- 14%) junto con un incremento espectacular en el RD (en demanda uniforme 59% y en la demanda variable 52%). En el modelo ECHAM4-FIC se produce un leve incremento de la aportación natural de cálculo (3%) acompañada de un incremento muy importante del RD (en demanda uniforme 72% y en la demanda variable 7%). La justificación en ambos modelos de este comportamiento se puede encontrar observando el diagrama de cajas correspondiente (Anejo 1). Allí se aprecia como a pesar de que la aportación media se reduce, los mínimos aumentan respecto a los datos de la serie de aportaciones obtenida a partir de los datos observados, por lo que se produce un aumento del RD teniendo en cuenta que la capacidad de regulación es muy



pequeña. Por último en el modelo HadCM3-SDSM sería necesario examinar la variabilidad mensual e intraanual par obtener una explicación.

Asímismo se aprecia una gran sensibilidad de la variación del RD al tipo de demanda en el modelo ECHAM4-FIC y en menor medida, en el HadAM3-FIC.

4.2.3.2. EVOLUCIÓN DEL RECURSO DISPONIBLE CON RESPECTO AL PERÍODO DE CONTROL PARA LAS DISTINTAS PROYECCIONES

En la Tabla 7 y en la Tabla 8 se muestra, para cada tipo de demanda, la variación del RD respecto al periodo de control (1961-1990), para cada uno de los modelos y periodos estudiados: P2 (2011-2040), P3 (2041-2070) y P4 (2071-2100), Según el grado de variación del RD, la celda aparece en verde (> 0%), naranja (de -20% a 0%) o rojo (< -20%)

Esc	Periodo	CGCM2-FIC	ECHAM4-FIC	HadAM3-FIC	HadCM3-SDSM	HadCM3-PROMES	ECHAM4-RCAO	Media
A2	2011-2040	-8	-24		-21			-18
	2041-2070	-11	-34		-33			-26
	2071-2100	-16	-50	2	-59	-41	-56	-37
B2	2011-2040	-6	-16		-24			-15
	2041-2070	-12	-33		-40			-28
	2071-2100	-1	-39	-1	-37	-27	-33	-23

Tabla 12. Variación del recurso disponible (%) para demanda uniforme en cada periodo respecto al período de control en la demarcación hidrográfica del Cantábrico Oriental.

Esc	Periodo	CGCM2-FIC	ECHAM4-FIC	HadAM3-FIC	HadCM3-SDSM	HadCM3-PROMES	ECHAM4-RCAO	Media
A2	2011-2040	-11	-11		-22			-15
	2041-2070	-11	-25		-38			-25
	2071-2100	-17	-40	-20	-57	-47	-56	-40
B2	2011-2040	-7	-8		-20			-12
	2041-2070	-13	-23		-35			-24
	2071-2100	-5	-27	-10	-35	-40	-34	-25

Tabla 13. Variación del recurso disponible (%) para demanda variable en cada periodo respecto al período de control en la demarcación hidrográfica del Cantábrico Oriental.

En la Figura 18 se representan los resultados anteriores junto con la evolución de la aportación media anual.

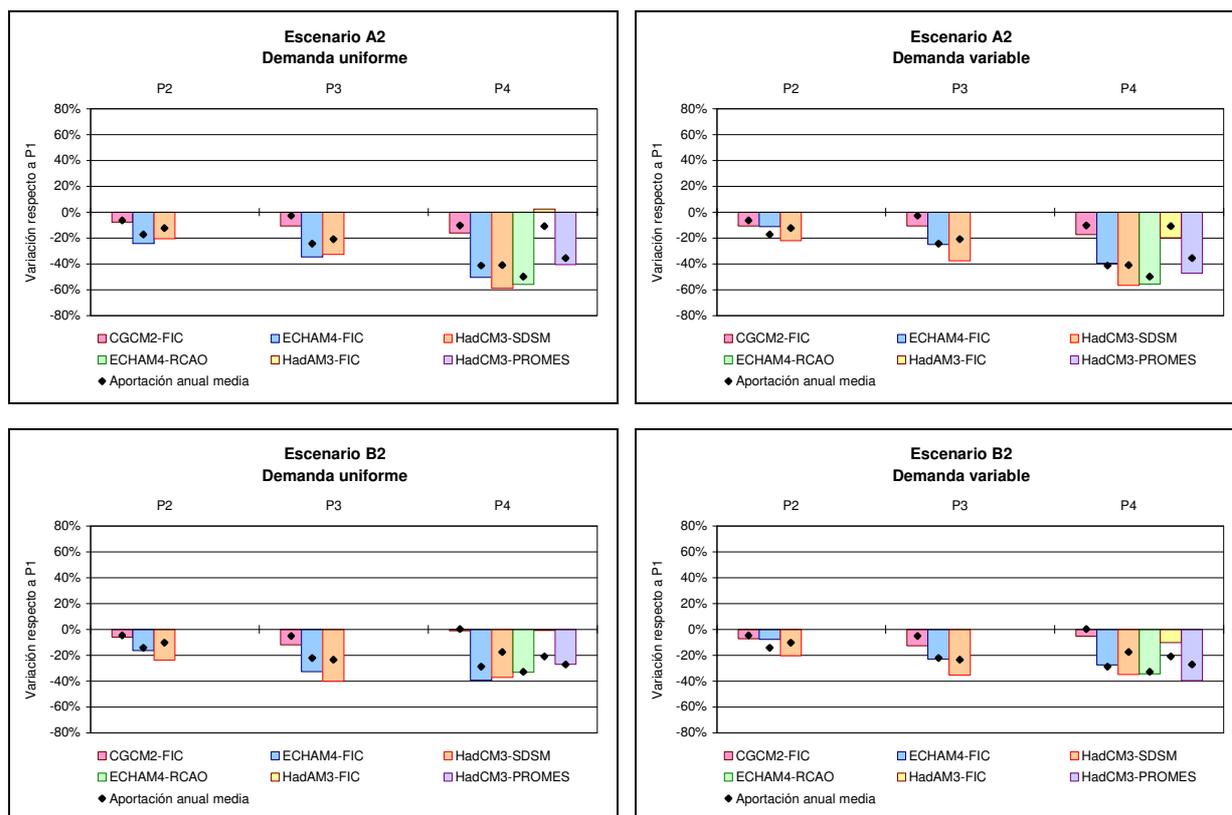


Figura 18. Evolución de la variación del recurso disponible (%) de P2 a P4 respecto al periodo de control (P1) en la demarcación hidrográfica del Cantábrico Oriental.

En general, si bien no se cumple en todos los modelos, los porcentajes de reducción del RD son menores en el escenario B2 que en el A2 tanto con demanda uniforme como variable.

En el escenario A2, con independencia del tipo de demanda, hay una tendencia de reducción creciente y sostenida en los tres periodos en los modelos que los contemplan (ECHAM4-FIC, HadCM3-SDSM y CGCM2-FIC). En cambio, en el escenario B2, dos modelos (CGCM2-FIC y HadCM3-SDSM) presentan una reducción creciente del RD de P2 a P3 y una mejora o estabilización a largo plazo (P4); sin embargo, el modelo ECHAM4-FIC mantiene la reducción creciente a la largo de los tres periodos.

4.2.3.3. EFECTO DE LAS RESTRICCIONES AMBIENTALES

Como se ha indicado en el apartado 3.2.5.2, sólo se ha estudiado el efecto de las restricciones ambientales sobre el RD en el periodo de control,

En la Figura 19 se muestra la reducción del RD en dicho período al tener en cuenta las restricciones ambientales. Se observa que tienen un efecto reducido sobre el RD, siendo el modelo HadAM3-FIC el que conduce a una mayor reducción, situándose en -13%. Es importante señalar que solamente se han considerado los tramos que se incluían en los cálculos de la asignación y reserva de recursos del borrador del Plan Hidrológico de las Cuencas internas del País Vasco. Las cuencas en las que se encuentran, suponen un porcentaje pequeño de la aportación total de la demarcación.



CEDEX

EFFECTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LOS RECURSOS HÍDRICOS DISPONIBLES EN LOS SISTEMAS DE EXPLOTACIÓN

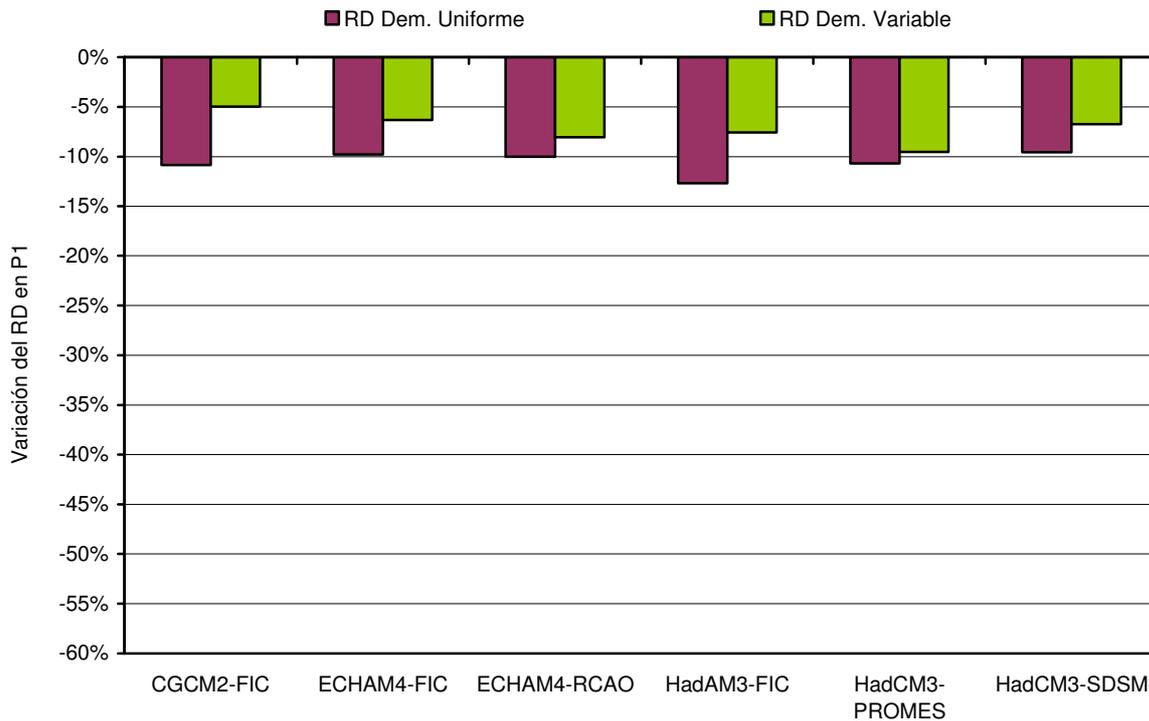


Figura 19. Variación del recurso disponible en el periodo de control debido a restricciones ambientales en la demarcación hidrográfica del Cantábrico Oriental.

4.3. DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DEL MIÑO-SIL

4.3.1. ELEMENTOS QUE INTEGRAN EL SISTEMA

4.3.1.1. APORTACIONES

En la Figura 20 se reflejan los 32 puntos considerados para el cálculo de las aportaciones de la demarcación del Miño-Sil. La aportación de cálculo del RD representa alrededor del 97% de los cauces considerados en el modelo.

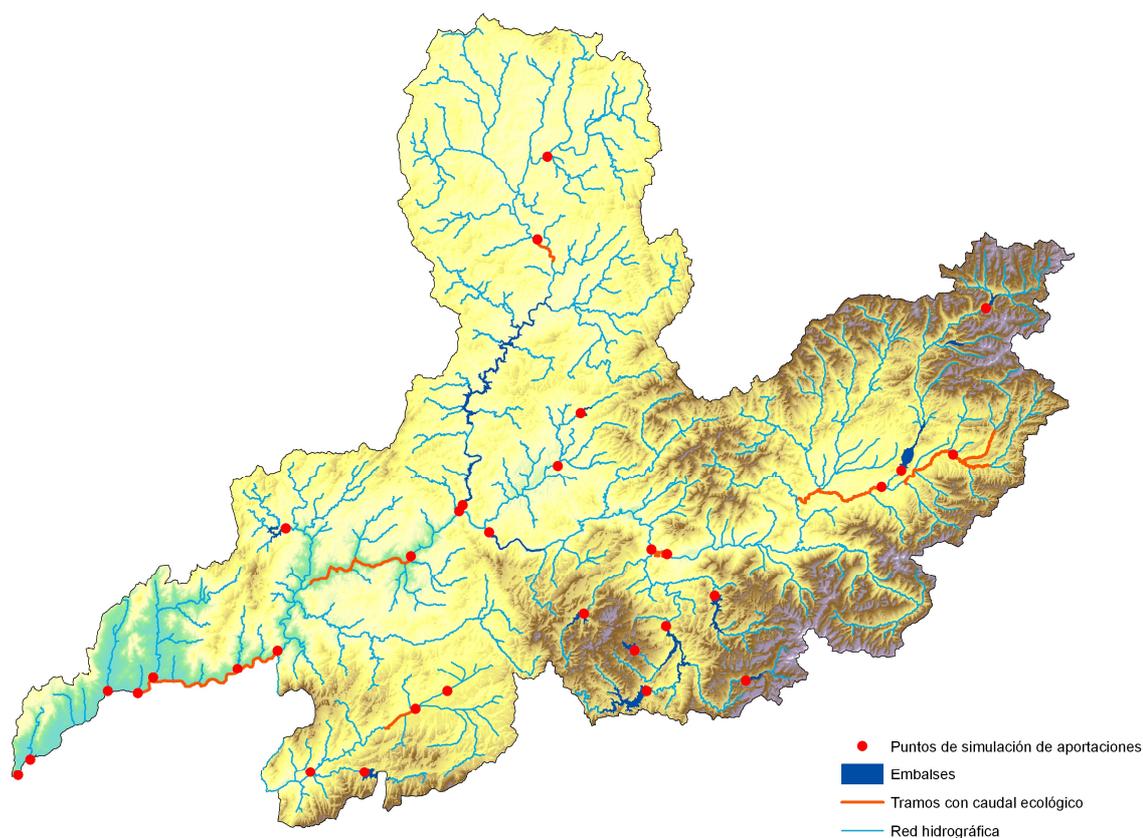


Figura 20. Demarcación hidrográfica del Miño-Sil

A continuación (Figura 21) se muestran las series anuales de aportaciones de cálculo para el periodo de control, obtenidas con el modelo SIMPA, a partir de datos climáticos derivados de los diferentes modelos de cambio climático y a partir de datos climáticos observados. Cada serie se obtiene de la suma de las series de aportación de cálculo de los ríos Miño, Limia, Deva, Tea, Louro y Carballo.

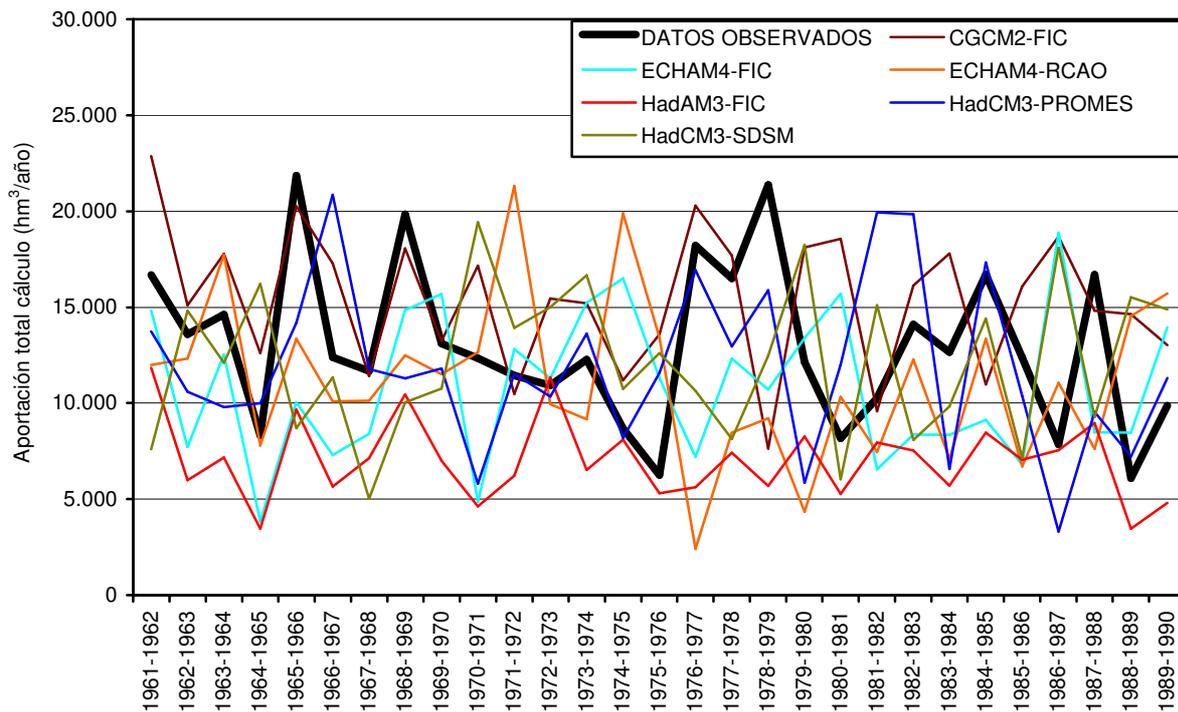


Figura 21. Series de aportación anual en el periodo de control (1961-1990) en la demarcación hidrográfica del Miño-Sil.

En la Figura 21 se aprecia una gran variabilidad entre las series generadas por los diferentes modelos. En lo que se refiere a la calidad de estimación de los modelos, por un lado destacar que la variabilidad de la serie “observada” está bastante bien representada por todos los modelos, mientras que en términos de magnitud, la mayoría de los modelos estiman por debajo a la serie “observada, excepto el modelo CGCM2-FIC. Como ejemplo indicativo señalar que el valor medio de la serie con datos “observados” es 13.000 hm³, mientras que el valor medio del conjunto de modelos (excepto el CGCM2-FIC) oscila entre 7.000 hm³ y 12.300 hm³. El valor medio de la serie con el modelo CGCM2-FIC es 15.400 hm³. Hay que tener en cuenta que tanto las desviaciones de las aportaciones estimadas como la variabilidad entre series se van a reflejar en el cálculo del RD.

La evolución temporal de las aportaciones anuales de cada uno de los modelos a lo largo de los cuatro periodos considerados se recoge en el ANEJO1. En este mismo anejo también figuran los diagramas de cajas de las series de aportaciones anuales.

4.3.1.2. DEMANDAS

El recurso disponible (RD) se ha calculado por separado para cada río independiente que conforma la demarcación, colocando al final del mismo una demanda que representa al conjunto de todas las demandas de la subcuenca. El RD total de la demarcación es la suma de los RD de las subcuencas consideradas en la demarcación. En el río Miño se han exigido restricciones ambientales en el tramo anterior al inicio de las aguas de transición, con lo que la demanda se ha colocado en el nudo anterior al tramo afectado para asegurarnos que dichas restricciones se garantizan. También se ha calculado el RD en los afluentes Deva, Tea, Louro y Carballo porque se ha considerado que su aportación es relevante, ya que como se explica en el apartado 3.2.2, la aportación anual media en la serie de aportaciones de 1940-2005 es mayor o igual a 50 hm³ (ver Figura 23).

4.3.1.3. CAUDALES MÍNIMOS

Como se ha señalado en el apartado 3.2.5.2 se han considerado tramos con restricciones ambientales las masas estratégicas, que son las que se muestran en la Figura 22 en color verde. La modulación de los caudales ambientales está definida en la Normativa del borrador del Plan de Cuenca, que se encuentra a información pública, y se indica en la siguiente tabla (m^3/s):

Código masa	Código esquema	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP
ES378MAR000222	CE.Min02	5,62	5,62	5,62	12,52	12,52	12,52	9,64	9,64	9,64	2,62	2,62	2,62
ES418MAR000710	CE.Boe01	2,07	2,07	2,07	4,37	4,37	4,37	3,67	3,67	3,67	1,99	1,99	1,99
ES425MAR001001	CE.Sil03	11,75	11,75	11,75	18,83	18,83	18,83	13,05	13,05	13,05	8,39	8,39	8,39
ES436MAR001180	CE.Sil04	24,79	24,79	24,79	30,20	30,20	30,20	22,04	22,04	22,04	16,38	16,38	16,38
ES472MAR001850	CE.Min05	55,41	55,41	55,41	74,45	74,45	74,45	54,00	54,00	54,00	38,45	38,45	38,45
ES494MAR002260	CE.Min06	74,50	74,50	74,50	100,54	100,54	100,54	74,51	74,51	74,51	53,10	53,10	53,10
ES510MAR002363	CE.Lim01	0,57	0,57	0,57	2,56	2,56	2,56	2,43	2,43	2,43	0,75	0,75	0,75

Tabla 14. Distribución de caudales mínimos considerados (m^3/s) en la demarcación hidrográfica deL Miño-Sil.

4.3.1.4. ELEMENTOS DE REGULACIÓN

En la demarcación hidrográfica del Miño-Sil se han considerado 15 embalses que representan una capacidad media de 2.500 hm^3 aproximadamente y se muestran en la Figura 20. Los embalses que actualmente tienen una función exclusivamente hidroeléctrica son: Bao, Cenza, Los Peares, Las Portas, Prada, Las Salas, San Esteban, San Sebastián, Chandreja, Matalavilla, Belesar y Albarellos.

En la tabla siguiente se refleja el volumen máximo mensual de cada embalse (o grupo de embalses). Los volúmenes mínimos se han considerado despreciables.

EMBALSE	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP
Albarellos	86	86	86	86	86	86	86	86	86	86	86	86
Bao	226	226	226	226	226	226	226	226	226	226	226	226
Bárcena	324	324	324	324	324	324	324	324	324	324	324	324
Cenza	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38
Chandreja	58	58	58	58	58	58	58	58	58	58	58	58
Matalavilla y Las Rozas	88	88	88	88	88	88	88	88	88	88	88	88
Los Peares y Belesar	786	786	786	786	786	786	786	786	786	786	786	786
Las Portas	509	509	509	509	509	509	509	509	509	509	509	509
Prada	116	116	116	116	116	116	116	116	116	116	116	116
Las Salas	83	83	83	83	83	83	83	83	83	83	83	83
San Esteban	202	202	202	202	202	202	202	202	202	202	202	202
San Sebastian	43	43	43	43	43	43	43	43	43	43	43	43

EMBALSE	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP
Vilasouto	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19
TOTAL MENSUAL	2.578	2.578	2.578	2.578	2.578	2.578	2.578	2.578	2.578	2.578	2.578	2.578

Tabla 15. Embalses de la demarcación hidrográfica del Miño-Sil. Distribución del volumen máximo mensual (hm^3/mes).

4.3.1.5. CONDUCCIONES

En la siguiente tabla se indican las capacidades máximas de las conducciones consideradas en la demarcación del Miño-Sil.

Nombre conducción	Qmax (hm^3/mes)
Bembibre-Bárcena	64,8
Santiago-Jares	72,6

Tabla 16. Capacidad máxima de las conducciones consideradas en la demarcación del Miño-Sil.

4.3.2. ESQUEMA DE CÁLCULO

En la Figura 22 se muestra el esquema completo de la demarcación del Miño-Sil donde aparecen todas las demandas distribuidas.

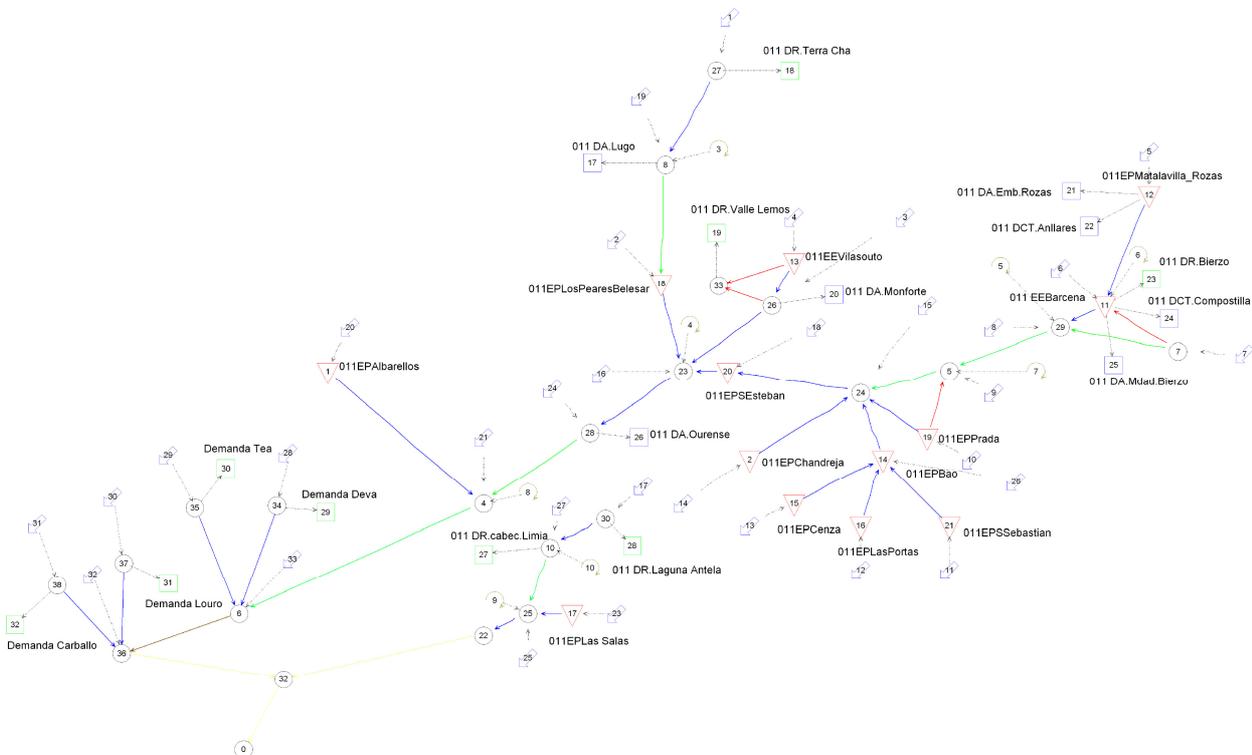


Figura 22. Esquema completo de optimización de la demarcación del Miño-Sil. Demanda distribuida

Para el cálculo del recurso disponible, según se indica en el apartado 3.2.3, se ha sustituido el conjunto de demandas por una única demanda al final de cada subcuenca independiente considerada en el modelo, como se muestra en la Figura 23.

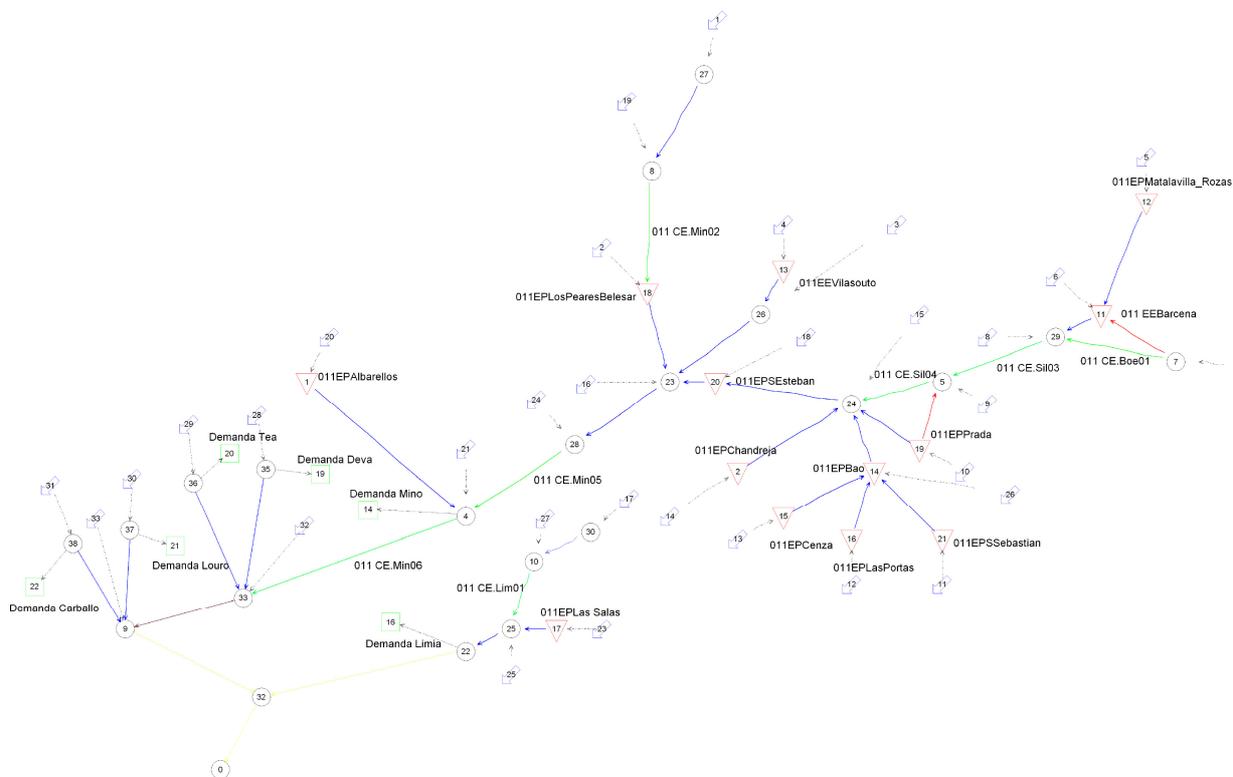


Figura 23. Esquema simplificado de optimización de la demarcación del Miño-Sil. Demanda concentrada

4.3.3. RESULTADOS

4.3.3.1. PERIODO DE CONTROL: COMPARACIÓN ENTRE LOS RESULTADOS OBTENIDOS A PARTIR DE DIFERENTES PROYECCIONES Y DE DATOS OBSERVADOS

En la Figura 24 se muestran las desviaciones de las estimaciones de la aportación anual media y el RD, tanto para demanda uniforme como variable, de los diferentes modelos de cambio climático respecto a las estimaciones obtenidas con datos observados (referencia).

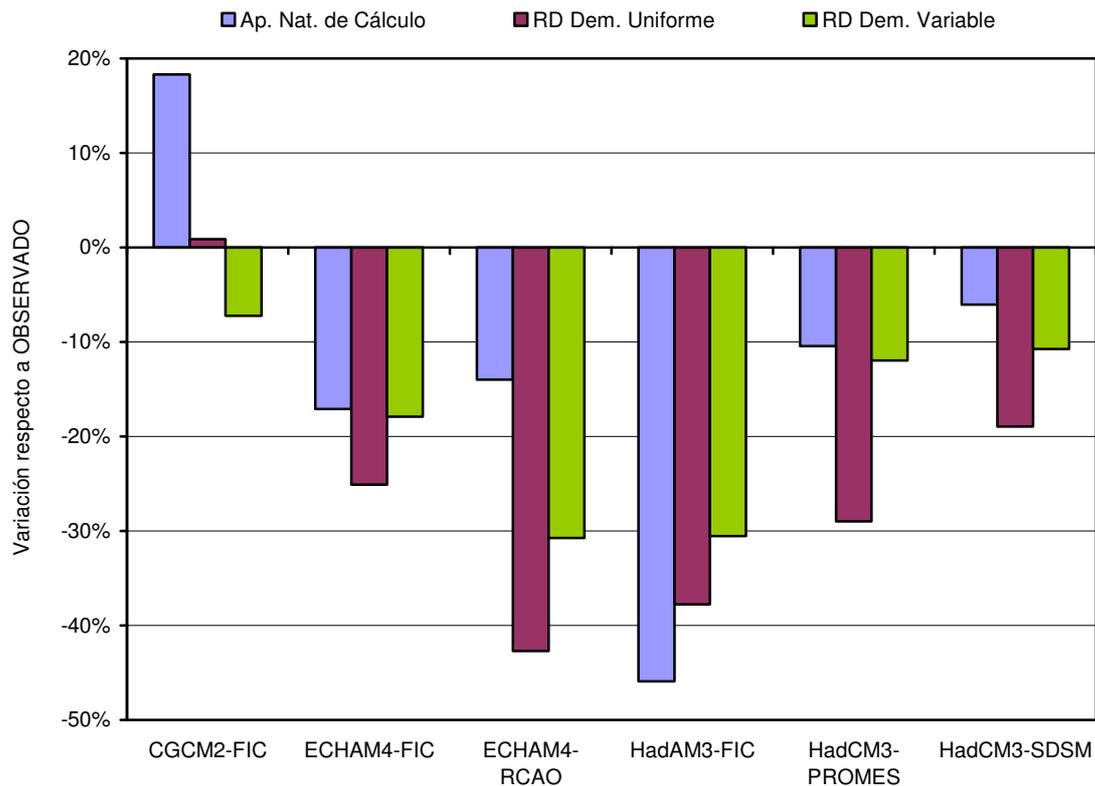


Figura 24. Desviación de las estimaciones de la aportación anual media y el recurso disponible de los diferentes modelos climáticos respecto a los datos observados en la demarcación hidrográfica del Miño-Sil.

Se observa en cuatro de los seis modelos que las reducciones en el RD son mayores que las de la aportación media anual. Este efecto es debido a que la serie de aportaciones de los modelos tiene, por un lado máximos relativos superiores a la serie “observada” (ver Figura 21) que desplazan el valor medio de la serie, y por otro mínimos relativos inferiores a la serie “observada” que limitan el RD.

Excepto el modelo CGCM2-FIC, todos los modelos experimentan reducciones importantes del RD, entre 20% y 40% para demanda uniforme y entre 10% y 30% para demanda variable. El hecho de que la demanda variable se reduzca menos puede estar relacionado con el criterio de garantía, que es mucho más laxo para demanda variable.

Las menores perspectivas de RD se producen con los modelos ECHAM4-RCAO y HadAM3-FIC y la mejor con el modelo CGCM2-FIC, que es además la más próxima a la de referencia. Si observamos la distribución de aportaciones de los modelos (Figura 21) se observa que los primeros tienen secuencias de valores inferiores a los de referencia más largas, y en cambio la serie del modelo CGCM2-FIC a penas presenta valores inferiores a la serie de referencia, y los que tiene son casos aislados dentro de la serie. Por tanto, la duración en el tiempo de aportaciones bajas es otro factor a tener en cuenta para el cálculo del RD. La demarcación tiene cierta capacidad de regular recursos mediante los embalses, amortiguando el efecto de aportaciones mínimas puntuales, pero es vulnerable frente a una secuencia larga de mínimos.

4.3.3.2. EVOLUCIÓN DEL RECURSO DISPONIBLE CON RESPECTO AL PERÍODO DE CONTROL PARA LAS DISTINTAS PROYECCIONES

En la Tabla 17 y en la Tabla 18 se muestra, para cada tipo de demanda, la variación del RD respecto al periodo de control (1961-1990), para cada uno de los modelos y periodos estudiados: P2 (2011-2040), P3 (2041-2070) y P4 (2071-2100). Según el grado de variación del RD, la celda aparece en verde (> 0%), naranja (de -20% a 0%) o rojo (< -20%).

Escenario	Periodo	CGCM2-FIC	ECHAM4-FIC	HadAM3-FIC	HadCM3-SDSM	HadCM3-PROMES	ECHAM4-RCAO	Media
A2	2011-2040	-8	-29		5			-11
	2041-2070	-11	-28		-11			-17
	2071-2100	-17	-34	-17	-20	-35	-34	-26
B2	2011-2040	-2	-5		-16			-8
	2041-2070	-13	-37		-9			-20
	2071-2100	-8	-33	-23	-7	0	-10	-14

Tabla 17. Variación del recurso disponible (%) para demanda uniforme en cada periodo respecto al período de control en la demarcación hidrográfica del Miño-Sil.

Esc	Periodo	CGCM2-FIC	ECHAM4-FIC	HadAM3-FIC	HadCM3-SDSM	HadCM3-PROMES	ECHAM4-RCAO	Media
A2	2011-2040	-4	-19		-9			-11
	2041-2070	-8	-24		-12			-15
	2071-2100	-17	-29	-6	-21	-25	-23	-20
B2	2011-2040	-3	-12		-9			-8
	2041-2070	-10	-24		-11			-15
	2071-2100	-7	-23	-14	-9	-18	-11	-14

Tabla 18. Variación del recurso disponible (%) para demanda variable en cada periodo respecto al período de control en la demarcación hidrográfica del Miño-Sil.

A continuación se muestran los resultados anteriores de forma gráfica junto a la evolución de la aportación anual media.

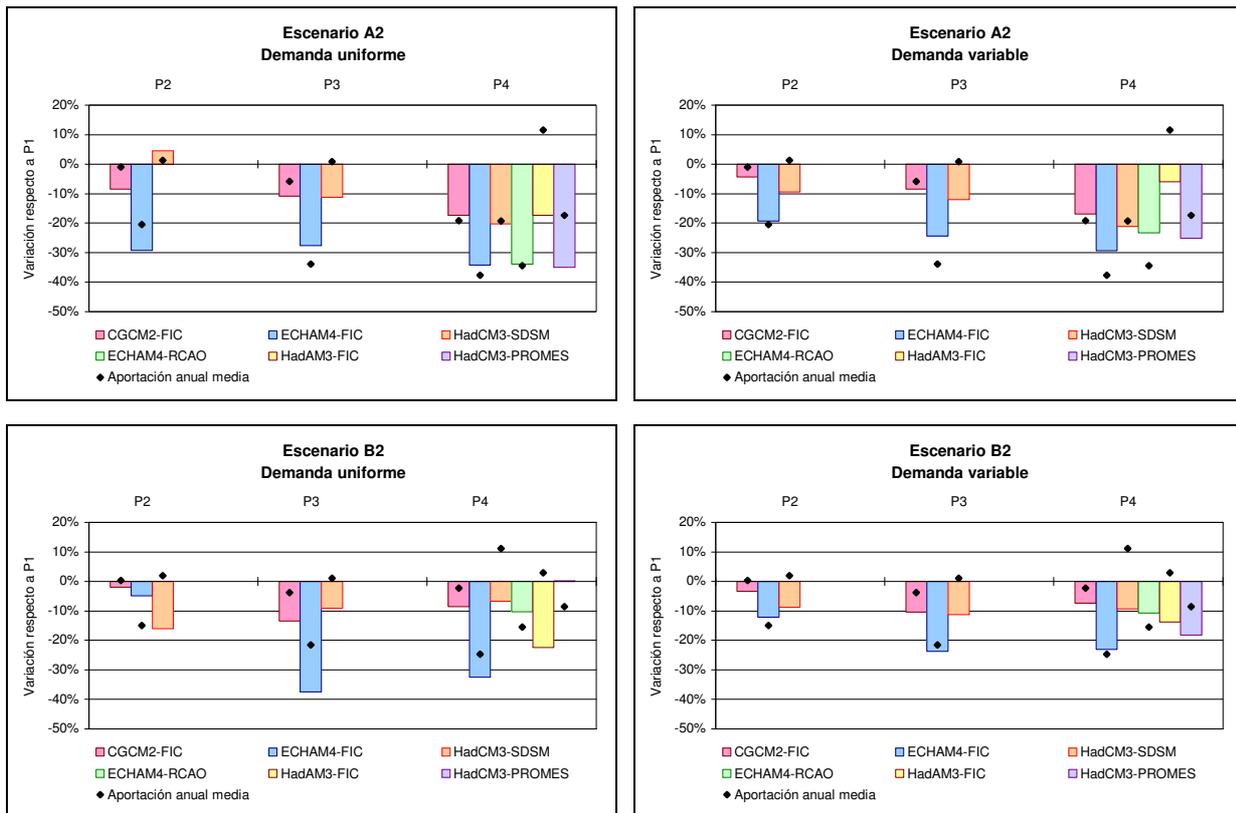


Figura 25. Evolución de la variación del recurso disponible (%) de P2 a P4 respecto al periodo de control (P1) en la demarcación hidrográfica del Miño-Sil.

Se observan diferencias en la variación del RD dentro de un mismo escenario dependiendo del tipo de demanda. No existe un patrón claro por tipo de demanda. En el escenario A2, en la mayoría de casos el RD para demanda uniforme se reduce más que para variable, mientras que en el escenario B2 existen los dos casos.

En el escenario A2 se observa una tendencia decreciente del RD desde P2 a P4 en los tres modelos de los que se dispone información. El modelo HadCM3-SDSM muestra una reducción progresiva y constante desde P2 a P4 para ambos tipos de demanda. Los modelos CGCM2-FIC y ECHAM4-FIC solo presentan este patrón con demanda variable. Para demanda uniforme, la reducción mayor es de P3 a P4, manteniéndose bastante estable entre P2 y P3.

En el escenario B2 el comportamiento del RD es bastante similar en los tres modelos para ambos tipos de demanda. Presentan una reducción importante desde P2 a P3 y se recuperan o estabilizan en P4.

El escenario B2 sólo es claramente más favorable al A2 en P4, para ambos tipos de demanda. El único modelo que no lo cumple es el HadAM3-FIC.

Existen casos en que el RD disminuye a pesar que el valor de la aportación anual media permanece estable respecto al periodo de control. Si analizamos las series de aportaciones anuales mediante diagramas de cajas (ver ANEJO 1) se observa que el valor medio se puede ver desplazado fácilmente por valores extremos de las series, en cambio el RD se ve limitado por los valores mínimos. Cuando los mínimos no son claramente inferiores al correspondiente del periodo de control, entonces es muy probable que la disminución del RD esté condicionada por la distribución de los mínimos a escala mensual, cuyo análisis está fuera del presente estudio. También es importante recordar, que la divergencia de resultados entre demanda uniforme y variable está principalmente condicionada por dos factores, por un lado el diferente

grado de exigencia de la garantía y por otro por la distribución de los mínimos, que en función de que estos ocurran en época de riego o no, un tipo de demanda se verá más afectado que otro.

4.3.3.3. EFECTO DE LAS RESTRICCIONES AMBIENTALES

Sólo se ha estudiado el efecto de las restricciones ambientales sobre el RD en el periodo de control, tal y como se ha indicado en el apartado 3.2.5.2. En la figura siguiente se muestra la reducción del RD en P1 teniendo en cuenta las restricciones ambientales respecto a no tenerlas en cuenta.

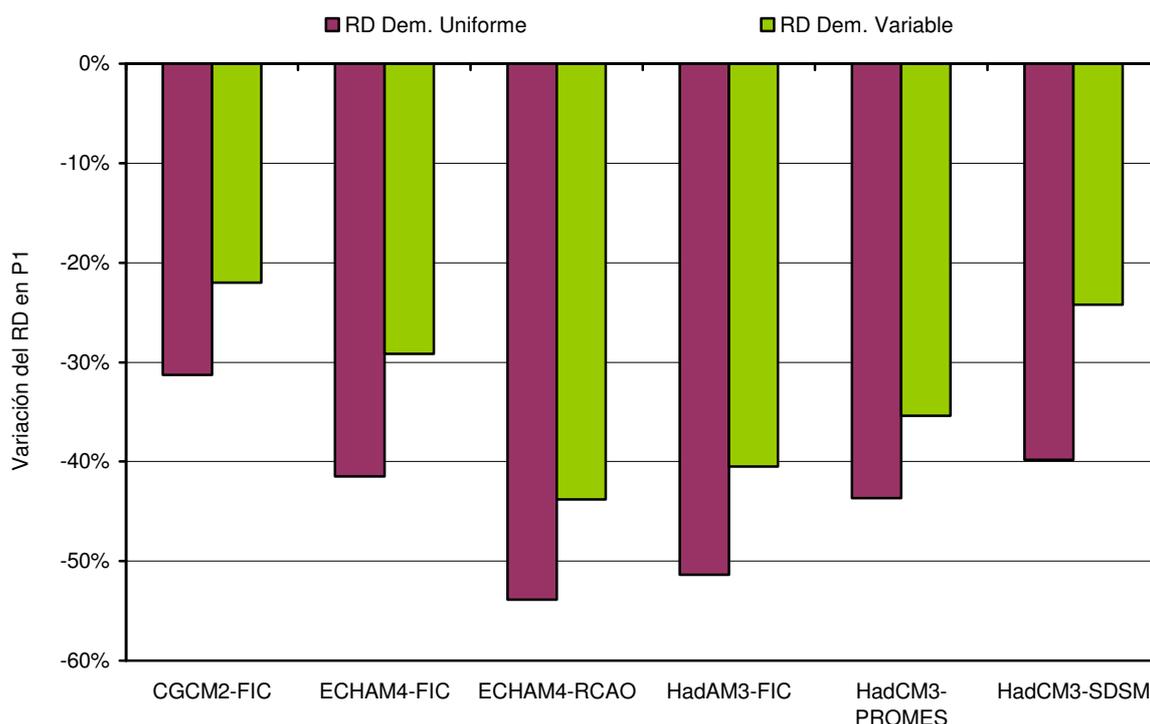


Figura 26. Variación del recurso disponible en el periodo de control debido a restricciones ambientales en la demarcación hidrográfica del Miño-Sil.

El efecto de las restricciones ambientales es muy importante en la demarcación del Miño-Sil, puesto que en demanda uniforme supone una disminución del RD entre un 30%-50% y en demanda variable entre un 22%-45%. En esta demarcación volvemos a tener restricciones ambientales aguas debajo de la ubicación de la demanda del río Miño, que puede ser un factor limitante importante para el RD.

4.4. DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DEL DUERO

4.4.1. ELEMENTOS QUE INTEGRAN EL SISTEMA

4.4.1.1. APORTACIONES

En la Figura 27 se reflejan los 54 puntos considerados para el cálculo de las aportaciones de la demarcación del Duero. La aportación así evaluada representa la aportación total de todos los cauces considerados en el modelo.

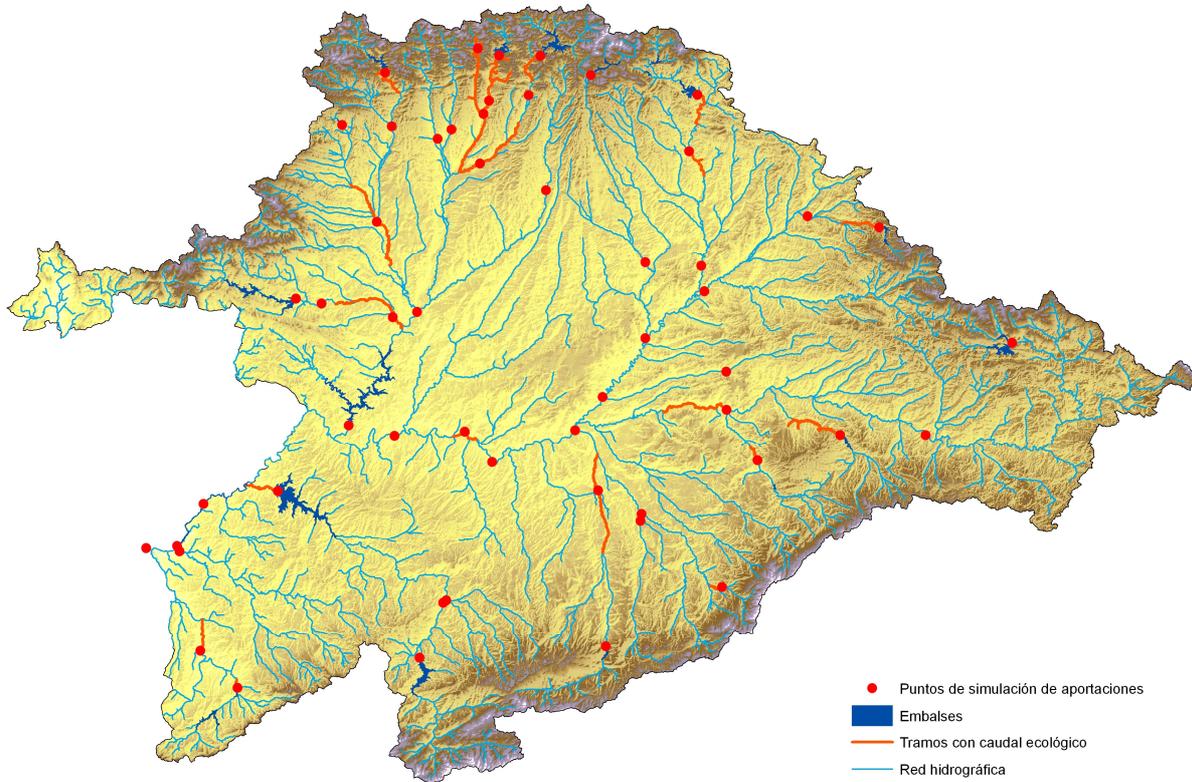


Figura 27. Demarcación hidrográfica del Duero

A continuación, en la Figura 28 se muestran las series anuales de aportaciones de cálculo, para el periodo de control, obtenidas con el modelo SIMPA, a partir de los datos climáticos derivados de los diferentes modelos de cambio climático y a partir de datos climáticos observados.

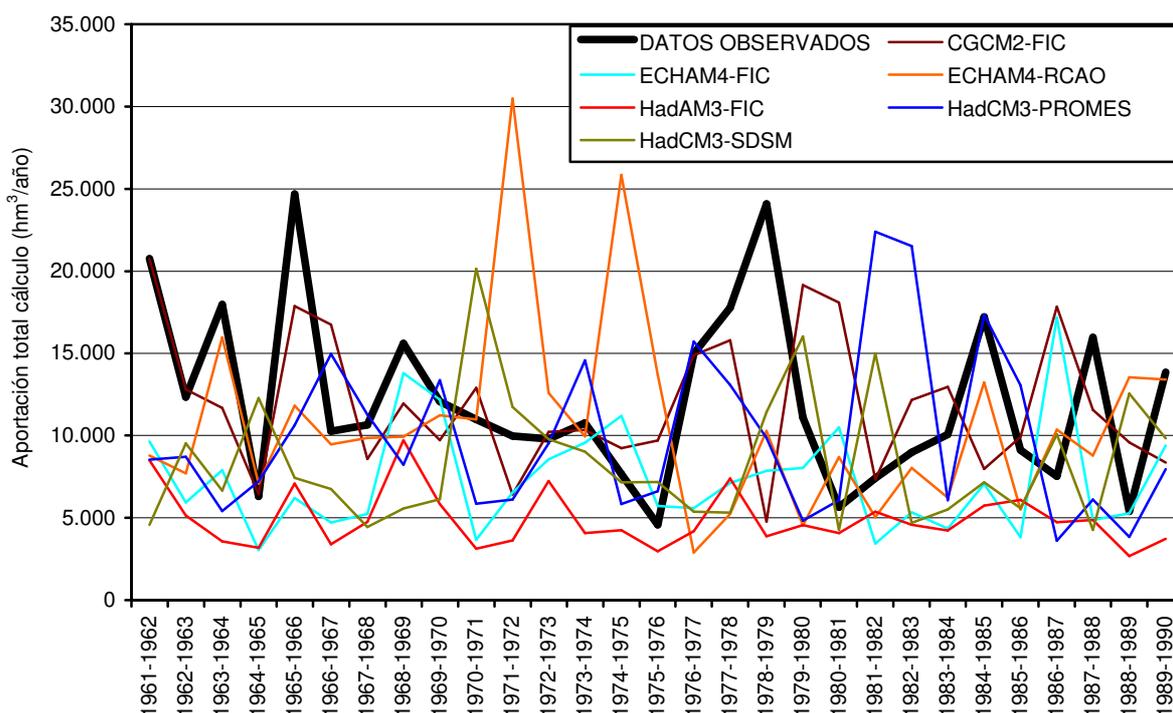


Figura 28. Series de aportación anual en el periodo de control (1961-1990) en la demarcación hidrográfica del Duero

Un análisis visual indica que los modelos más próximos a la serie “observada” son el CGCM2-FIC y el HadCM3-PROMES, mientras que el que más dista es el HadAM3-FIC, con una aportación muy inferior al resto de los modelos. Se observa en todos los modelos cierta subestimación de las aportaciones con respecto a las resultantes de los datos observados; a título meramente indicativo, cabe señalar que la aportación media anual a partir de datos climáticos observados es de 12.200 hm³/año, mientras que para los distintos modelos de cambio climático oscila entre 4.900 hm³/año, para el HadAM3-FIC, y 11.900 hm³/año, con el CGCM2-FIC. Igualmente se aprecian muy notables diferencias en la distribución temporal entre los diferentes modelos. Estas circunstancias implican un elevado grado de incertidumbre en las series de aportaciones en régimen natural, que constituyen uno de los datos básicos para la evaluación del recurso disponible. Por tanto debe tenerse en cuenta que, como se analizará después, esta incertidumbre se trasladará también al cálculo del recurso disponible.

La evolución temporal de las aportaciones anuales de cada uno de los modelos a lo largo de los cuatro períodos considerados se recoge en el ANEJO1. En este mismo anejo también figuran los diagramas de cajas de las series de aportaciones anuales.

4.4.1.2. DEMANDAS

Para evaluar el recurso disponible de la demarcación se ha colocado al final de la cuenca una demanda que representa al conjunto de demandas de toda la demarcación, como se aprecia en la Figura 30.

4.4.1.3. CAUDALES MÍNIMOS

Como se ha señalado en el apartado 3.2.5.2 se han considerado tramos con restricciones ambientales las masas estratégicas y además aquellos tramos en que según el borrador del



Plan de Cuenca, que se encuentra en información pública durante la redacción del presente documento, se ubiquen puntos de control ambiental con influencia directa en las masas estratégicas. Los tramos considerados se muestran en la Figura 29 y las modulaciones de los caudales ambientales son las definidas en la Normativa del borrador del Plan y se indican en la siguiente tabla (m^3/s):

Código masa	Código esquema	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP
E.A. 2010	CE.Ria01	0,23	0,23	0,28	0,35	0,36	0,35	0,37	0,35	0,26	0,23	0,23	0,23
E.A. 2032	CE.Arn01	0,32	0,52	0,60	0,62	0,63	0,65	0,72	0,71	0,41	0,32	0,32	0,32
E.A. 2050	CE.Ere01	0,12	0,14	0,18	0,29	0,27	0,28	0,30	0,28	0,16	0,12	0,12	0,12
E.A. 2060	CE.Orb02	4,80	5,23	6,64	7,10	6,91	8,03	7,87	7,03	4,80	4,80	4,80	4,80
E.A. 2062	CE.Due07	29,80	31,11	31,92	33,32	33,46	37,09	40,44	39,41	31,93	29,80	29,80	29,80
E.A. 2063	CE.Cur01	0,46	0,78	0,80	0,96	0,84	0,90	0,87	0,82	0,53	0,44	0,44	0,44
E.A. 2075	CE.Lun01	1,16	1,40	1,82	2,07	2,02	2,18	2,30	1,90	1,16	1,16	1,16	1,16
E.A. 2077	CE.Tue01	0,11	0,11	0,13	0,12	0,14	0,13	0,15	0,13	0,11	0,11	0,11	0,11
E.A. 2091	CE.Agd02	0,96	1,04	0,96	1,90	1,67	1,70	2,15	1,97	1,49	0,96	0,96	0,96
E.A. 2099	CE.Tra03	3,26	3,78	4,36	4,43	4,15	4,61	4,91	4,48	3,50	3,26	3,26	3,26
E.A. 2103	CE.Esl02	3,10	3,99	4,70	5,17	4,75	5,43	6,09	5,18	3,38	2,91	2,84	2,91
E.A. 2111	CE.Esl03	3,72	4,88	5,60	6,01	5,71	6,44	7,09	6,08	4,08	3,59	3,56	3,59
E.A. 2112	CE.Por03	3,19	3,55	3,84	4,15	3,97	4,52	4,61	4,32	3,18	3,01	3,01	3,01
E.A. 2132	CE.Due04	7,36	8,20	8,18	7,52	8,38	8,27	9,43	9,92	8,62	7,36	7,36	7,36
E.A. 2133	CE.Pga02	3,07	3,25	3,25	3,07	3,07	3,08	3,07	3,07	3,35	3,30	3,33	3,25
E.A. 2161	CE.Dur01	0,62	0,67	0,65	0,73	0,81	0,78	0,79	0,83	0,66	0,62	0,62	0,62
Adaja en Arévalo	CE.Ada01	0,41	0,41	0,45	0,64	0,66	0,66	0,73	0,61	0,41	0,41	0,41	0,41
Adaja en Medina Olmedo	CE.Ada02	0,60	0,60	0,62	0,92	0,94	0,96	1,02	0,86	0,60	0,60	0,60	0,60
E. Águeda	CE.Agd01	0,22	0,33	0,26	0,67	0,57	0,61	0,69	0,66	0,44	0,21	0,20	0,21
E. Aguilar	CE.Pga01	2,33	2,32	2,29	2,18	2,18	2,18	2,18	2,18	2,44	2,39	2,62	2,57
E. Almendra	CE.Tor04	1,84	2,21	2,13	2,37	2,33	2,22	2,60	2,50	2,04	1,84	1,84	1,84
E.N.S. Agavanzal	CE.Tra02	2,44	3,02	3,52	3,62	3,36	3,83	3,96	3,64	2,66	2,44	2,42	2,44
E. Porma	CE.Por01/ 02	1,22	1,34	1,46	1,69	1,56	1,75	2,06	1,81	1,31	1,21	1,21	1,21
E. Riaño	CE.Esl01	2,08	2,75	3,15	3,76	3,34	3,71	4,34	3,54	2,17	1,82	1,76	1,82

Tabla 19. Distribución de caudales mínimos considerados (m^3/s) en la demarcación hidrográfica del Duero.

4.4.1.4. ELEMENTOS DE REGULACIÓN

En la demarcación del Duero se han considerado 25 embalses que representan una capacidad media de 7.000 hm^3 y se muestran en la Figura 27. Los embalses que actualmente tienen un uso exclusivamente hidroeléctrico son: Ricobayo, Aldeadavila, Saucelle, Almendra, Burgomillodo, Cernadilla y Valparaíso.

En la tabla siguiente se refleja el volumen máximo mensual de cada embalse (o grupo de embalses en su caso). Los volúmenes mínimos se han considerado despreciables.

EMBALSE	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP
Águeda e Irueña	132	132	96	96	106	106	106	132	132	132	132	132
Aguilar de Campoo, La Requejada y Cervera-Ruesga	322	322	252	252	252	271	293	322	322	322	322	322
Aldeadávila	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110
Almendra	2.586	2.586	2.586	2.586	2.586	2.586	2.586	2.586	2.586	2.586	2.586	2.586
Barrios de Luna	308	308	268	268	268	268	268	308	308	308	308	308
Burgomillodo y Las Vencías	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
Castro de las Cogotas	59	59	39	39	39	44	49	59	59	59	59	59
Cernadilla y Valparaiso	404	404	404	404	404	404	404	418	418	418	418	418
Compuerto y Camporredondo	165	165	132	136	144	155	162	165	165	165	165	165
La Cuerda del Pozo	229	229	179	179	179	194	209	229	229	229	229	229
Linares del Arroyo	58	58	48	48	51	51	53	58	58	58	58	58
Porma	317	317	277	277	277	277	277	317	317	317	317	317
Riaño	651	651	576	576	571	561	561	651	651	651	651	651
Ricobayo	1.120	1.120	1.120	1.120	1.120	1.120	1.120	1.120	1.120	1.120	1.120	1.120
Santa Teresa	496	496	396	396	396	436	466	496	496	496	496	496
Saucelle	172	172	172	172	172	172	172	172	172	172	172	172
Úzquiza y Arlanzón	97	97	77	77	77	87	92	97	97	97	97	97
Villameca	20	20	15	15	17	17	17	20	20	20	20	20
TOTAL MENSUAL	7.266	7.266	6.767	6.771	6.789	6.878	6.965	7.280	7.280	7.280	7.280	7.280

Tabla 20. Embalses de la demarcación hidrográfica del Duero. Distribución del volumen máximo mensual (hm³/mes).

4.4.1.5. CONDUCCIONES

En la siguiente tabla se indican las capacidades de las conducciones consideradas en el esquema de la demarcación del Duero.

Nombre conducción	Qmax (hm ³ /mes)
Canal Castilla Ramal Norte	5,2
Canal Castilla Ramal Campos	43
Canal Castilla Ramal Sur	35
Trasvase Curueño-Porma	60
Canal Alto de los Payuelos	7,5
Canal Cea-Carrión	49,2
Canal del Duero	12,2

Nombre conducción	Qmax (hm3/mes)
Canal de Riaza	13
Abastecimiento a Valladolid desde C. del Duero	12,2
Abastecimiento a Valladolid desde C. de Castilla	12,2
Abastecimiento a León desde río Órbigo	Sin límite
Abastecimiento a León desde río Torío	Sin límite
Abastecimiento a León desde río Porma	Sin límite

Tabla 21. Capacidad máxima de las conducciones consideradas en la demarcación del Duero.

4.4.2. ESQUEMA DE CÁLCULO

En la Figura 29 se muestra el esquema completo de la demarcación del Duero donde aparecen todas las demandas distribuidas.

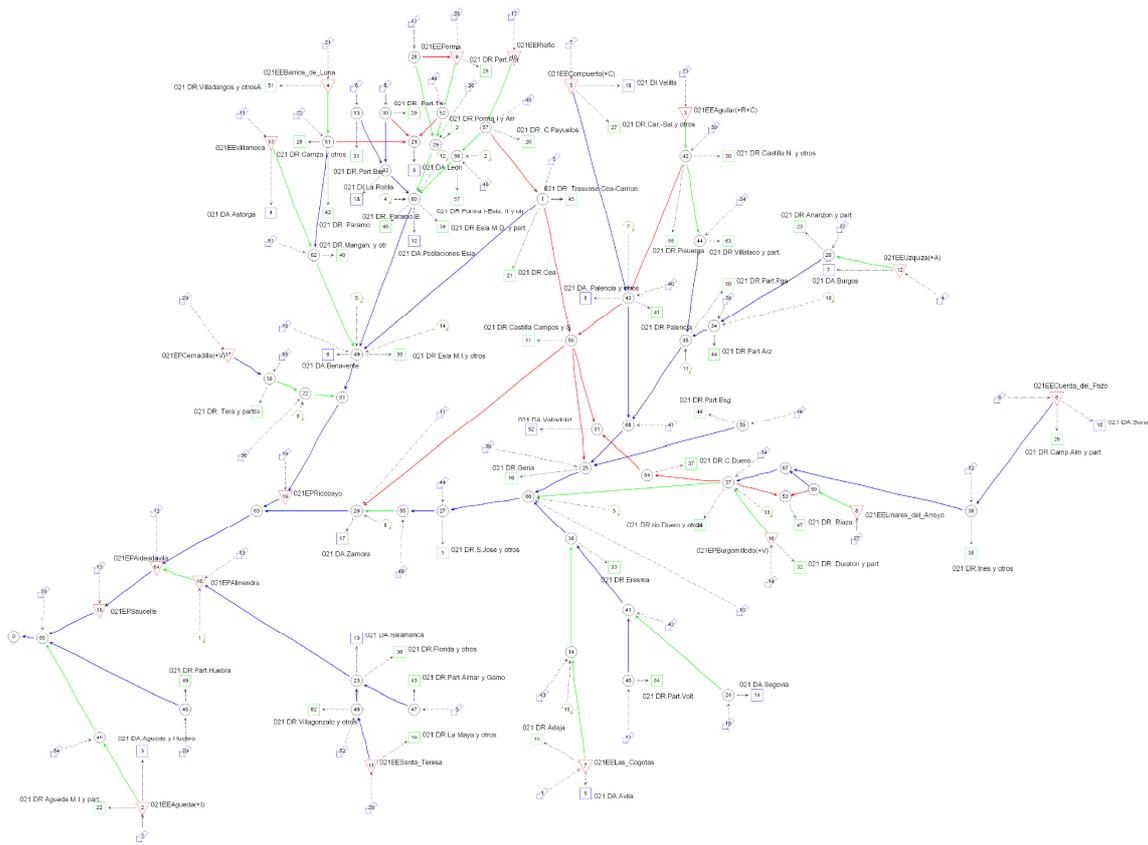


Figura 29. Esquema completo de optimización de la demarcación del Duero. Demanda distribuida

Para el cálculo del recurso disponible, según se indica en el apartado 3.2.3 se ha sustituido el conjunto de demandas por una única demanda al final de la cuenca, como se muestra en la Figura 30.

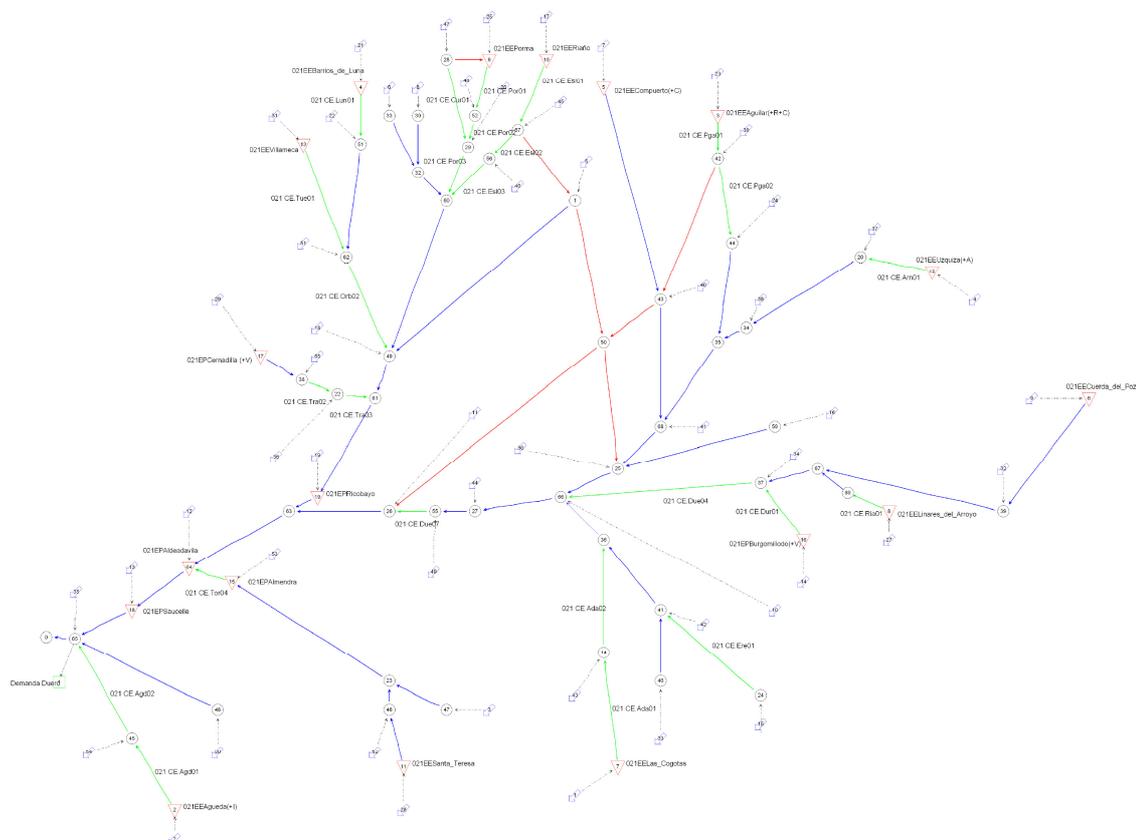


Figura 30. Esquema simplificado de optimización de la demarcación del Duero. Demanda concentrada

4.4.3. RESULTADOS

4.4.3.1. PERÍODO DE CONTROL: COMPARACIÓN ENTRE LOS RESULTADOS OBTENIDOS A PARTIR DE DIFERENTES PROYECCIONES Y DE DATOS OBSERVADOS

En la Figura 31 se muestran las desviaciones de las estimaciones de la aportación anual media y el RD, tanto para demanda uniforme como variable, obtenidas con los diferentes modelos de cambio climático respecto a las estimaciones obtenidas con datos observados (referencia).

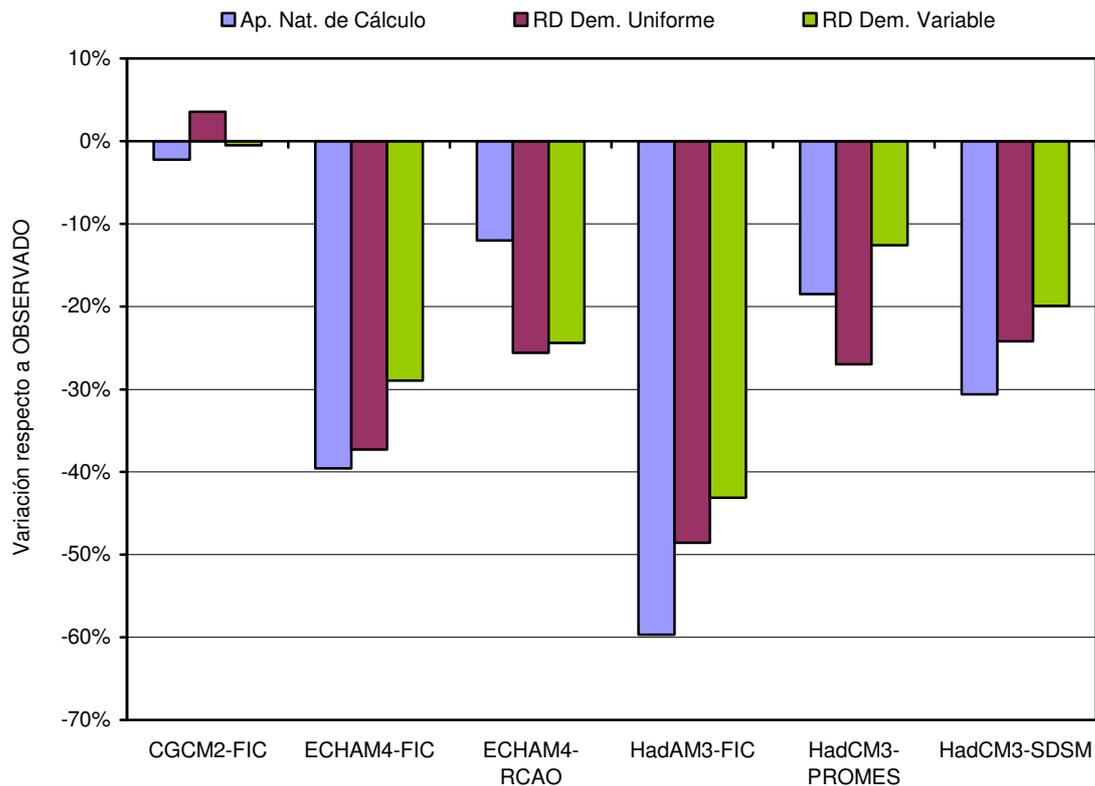


Figura 31. Desviación de las estimaciones de la aportación anual media y el recurso disponible de los diferentes modelos climáticos respecto a los datos observados en la demarcación hidrográfica del Duero.

Se puede observar que, en general, las desviaciones en la estimación del RD van asociadas a las desviaciones en la estimación del recurso en régimen natural, representadas de manera muy simple en la figura por la desviación de la aportación anual media.

Se observa, además, que el modelo CGCM2-FIC es el que presenta unas desviaciones menores, tanto de la aportación anual media como del RD, con una diferencia apreciable respecto al resto de los modelos. El modelo que presenta mayores diferencias es el HadAM3-FIC. En general, el RD para demanda variable es el que presenta una reducción menor (para todos los modelos), lo cual puede explicarse por tener un criterio de garantía menos exigente que la demanda uniforme, aunque también puede suceder que la diferencia con el RD uniforme sea mínima (e. g. ECHAM4-RCAO).

En algunos casos se observa que la reducción del RD es superior a la reducción de la aportación anual media (e.g. ECHAM4-RCAO y HadCM3-PROMES). Este fenómeno se puede explicar porque la serie de aportaciones de ambos modelos tienen picos puntuales que superan los obtenidos con datos reales, y pueden desplazar la aportación anual media de dichos modelos, reduciendo así la diferencia con el valor de referencia (ver Figura 28). Exceptuando esos años puntuales, las aportaciones de ambos modelos tienden, en general, a ser inferiores a las serie de referencia, acorde con el resto de los modelos, y limitan el RD. De este modo se explicarían las diferencias de los dos modelos respecto al resto.

4.4.3.2. EVOLUCIÓN DEL RECURSO DISPONIBLE CON RESPECTO AL PERÍODO DE CONTROL PARA LAS DISTINTAS PROYECCIONES

En la Tabla 22 y en la Tabla 23 se muestra, para cada tipo de demanda, la variación del RD respecto al periodo de control (1961-1990), para cada uno de los modelos y periodos estudiados: P2 (2011-2040), P3 (2041-2070) y P4 (2071-2100). Según el grado de variación del RD, la celda aparece en verde (> 0%), naranja (de -20% a 0%) o rojo (< -20%).

Escenario	Periodo	CGCM2-FIC	ECHAM4-FIC	HadAM3-FIC	HadCM3-SDSM	HadCM3-PROMES	ECHAM4-RCAO	Media
A2	2011-2040	-15	-22		-13			-17
	2041-2070	-10	-37		-19			-22
	2071-2100	-28	-37	-11	-34	-36	-51	-33
B2	2011-2040	-9	-27		-41			-26
	2041-2070	-11	-30		-21			-21
	2071-2100	-9	-34	-28	2	-37	-27	-22

Tabla 22. Variación del recurso disponible (%) para demanda uniforme en cada periodo respecto al período de control en la demarcación hidrográfica del Duero.

Escenario	Periodo	CGCM2-FIC	ECHAM4-FIC	HadAM3-FIC	HadCM3-SDSM	HadCM3-PROMES	ECHAM4-RCAO	Media
A2	2011-2040	-9	-23		-5			-12
	2041-2070	-13	-37		-19			-23
	2071-2100	-25	-37	-7	-34	-27	-45	-29
B2	2011-2040	-9	-29		-10			-16
	2041-2070	-16	-34		-17			-22
	2071-2100	-7	-33	-21	-4	-29	-22	-19

Tabla 23. Variación del recurso disponible (%) para demanda variable en cada periodo respecto al período de control en la demarcación hidrográfica del Duero.

En la Figura 32 se representan los resultados anteriores junto con la evolución de la aportación anual media.

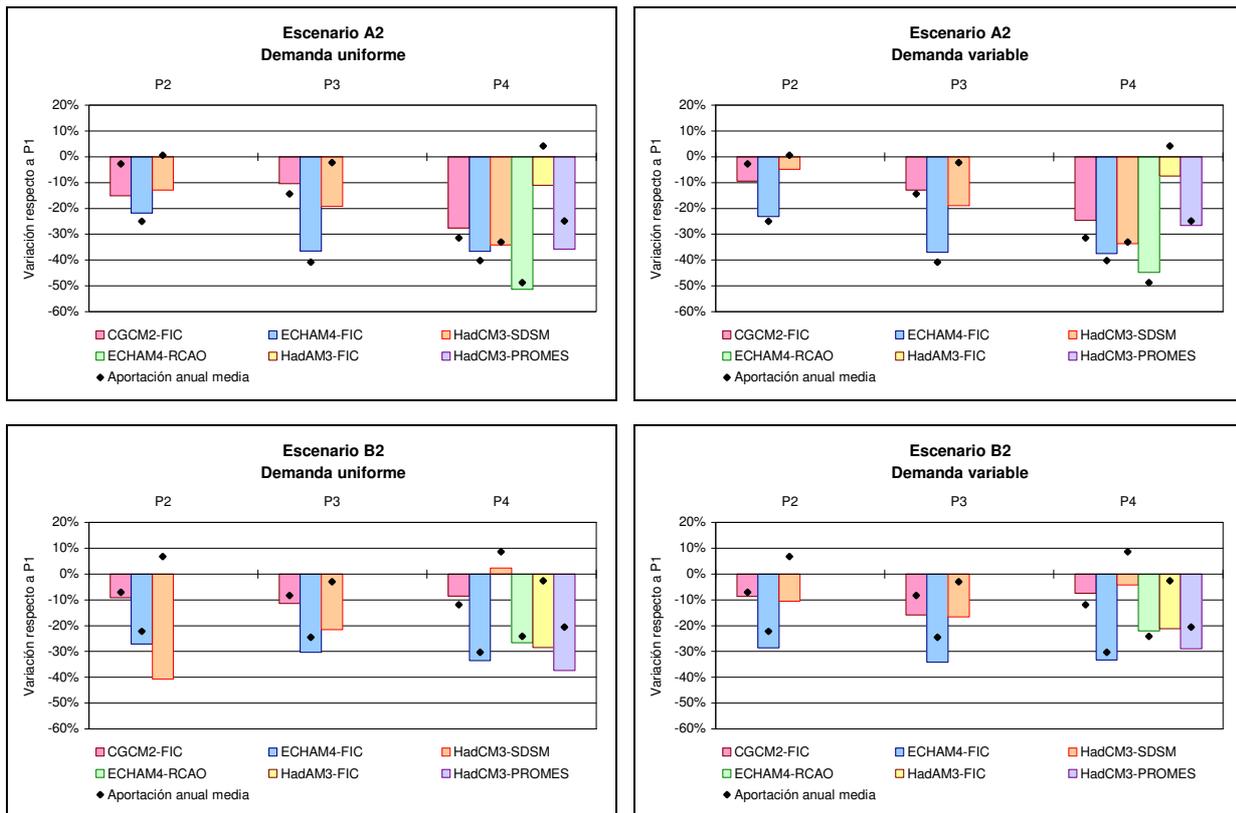


Figura 32. Evolución de la variación del recurso disponible (%) de P2 a P4 respecto al periodo de control (P1) en la demarcación hidrográfica del Duero.

En general, para todos los modelos, el comportamiento del RD no es sensible al tipo de demanda dentro de cada uno de los escenarios climáticos (A2/B2), exceptuando el modelo HadCM3-SDSM en el escenario B2.

En el escenario A2 se aprecia una tendencia decreciente del RD desde P2 a P4, tanto para demanda uniforme como variable, pero con una evolución muy diferente según el modelo considerado. En efecto, el modelo CGCM2-FIC presenta una reducción mayor entre P3 y P4. En cambio, en el modelo ECHAM4-FIC la reducción importante del RD se produce entre P2 y P3, manteniéndose estable entre P3 y P4. A su vez, con el modelo HadCM3-SDSM el RD tiene una disminución creciente y constante desde P2 a P4.

En el escenario B2 no se aprecia una tendencia clara a la reducción del RD: en dos modelos se mantiene sensiblemente constante, mientras que en un tercero (HadCM3-SDSM) se observa una clara mejora al avanzar en el tiempo, de manera que a largo plazo el RD recupera los valores que tenía en el período de control.

En general, las diferencias más sustanciales entre los escenarios A2 y B2 aparecen a largo plazo, en el período P4, donde el escenario B2 sólo es claramente más favorable para tres modelos. Por tanto, no puede afirmarse que las medidas adoptadas en el escenario B2 tengan un reflejo en la disponibilidad del recurso.

Por otro lado, para los modelos HadCM3-SDSM y HadAM3-FIC se observa un comportamiento aparentemente anómalo entre el RD y la aportación, ya que hay casos en que a pesar de que la aportación anual media se mantenga constante o incluso aumente, el RD se reduce. Una explicación preliminar de este comportamiento puede obtenerse examinando los diagramas de cajas de las aportaciones anuales (ANEJO1). En ellos, se aprecia que las aportaciones

mínimas en estos períodos son menores que las correspondientes al periodo de control, lo que podría ser la causa del menor RD. Sin embargo, las series tienen, en general, valores mayores que en el periodo de control, además de la existencia de valores extremos (outliers); ambos rasgos hacen aumentar la aportación anual media.

4.4.3.3. EFECTO DE LAS RESTRICCIONES AMBIENTALES

Como se ha indicado en el apartado 3.2.5.2 de la Metodología, sólo se ha estudiado el efecto de las restricciones ambientales sobre el RD en el periodo de control.

En la figura siguiente se muestra la reducción del RD en P1 teniendo en cuenta las restricciones ambientales respecto a no tenerlas en cuenta. Se observa que las restricciones ambientales tienen un efecto prácticamente nulo (demanda uniforme) o muy bajo (demanda variable) sobre el RD. Exceptuando el modelo HadCM3-PROMES, la media de la reducción del RD en demanda variable debido a causas ambientales es del 4%. Una causa del bajo impacto de las restricciones ambientales sobre el RD podría ser el hecho de que se haya estimado a partir de una demanda concentrada al final de la cuenca que no se ve afectada por un caudal mínimo aguas abajo. Con esta configuración, la afección que puede suponer sobre la demanda la modulación de los caudales mínimos en tramos situados muy aguas arriba, se amortigua al incorporarse las aportaciones a lo largo de toda la cuenca.

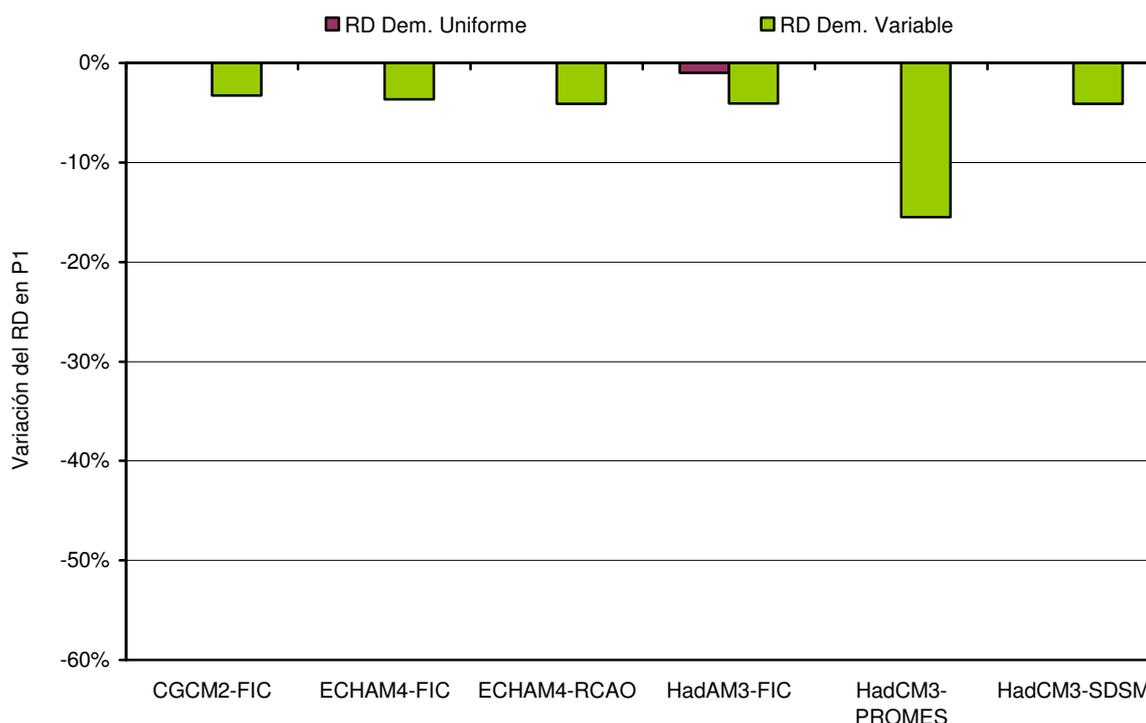


Figura 33. Variación del recurso disponible en el periodo de control debido a restricciones ambientales en la demarcación hidrográfica del Duero.

4.5. DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DEL TAJO

4.5.1. ELEMENTOS QUE INTEGRAN EL SISTEMA

4.5.1.1. APORTACIONES

En la Figura 34 se representan los 51 puntos considerados para el cálculo de las aportaciones de la demarcación del Tajo, que representan el 100% de la aportación natural de la demarcación. En ella también se incluyen los embalses considerados en el modelo.

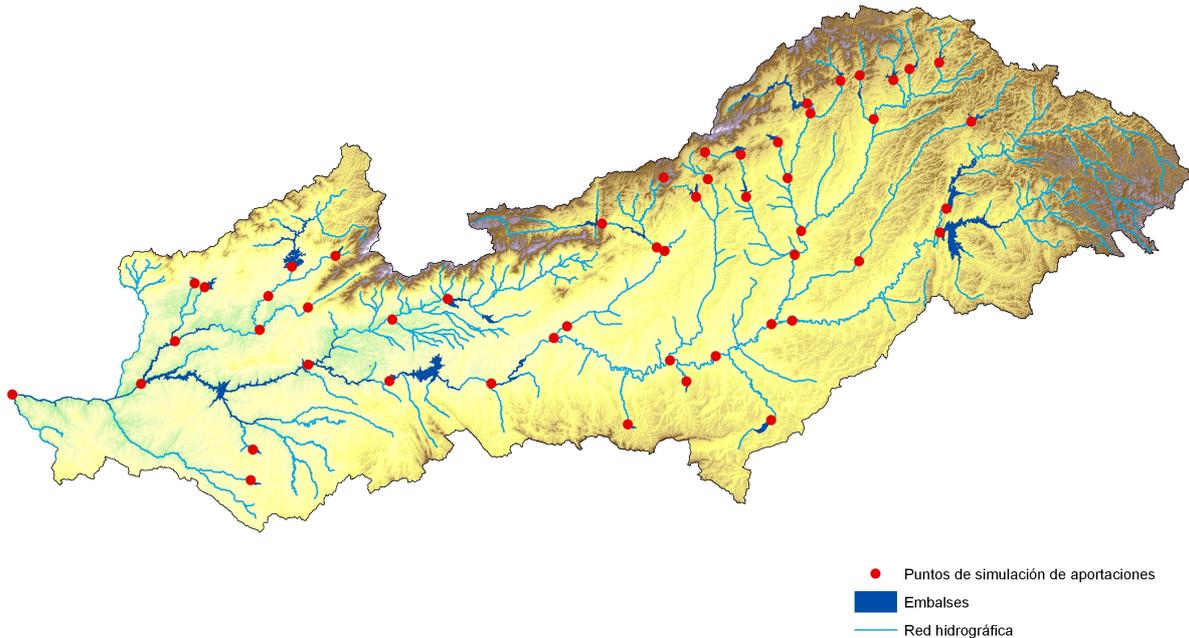


Figura 34. Demarcación hidrográfica del Tajo.

En la Figura 35 se muestran las series de aportaciones anuales de cálculo para el periodo de control. Se han obtenido mediante el modelo SIMPA a partir de datos climáticos derivados de los diferentes modelos climáticos y de datos climáticos observados.

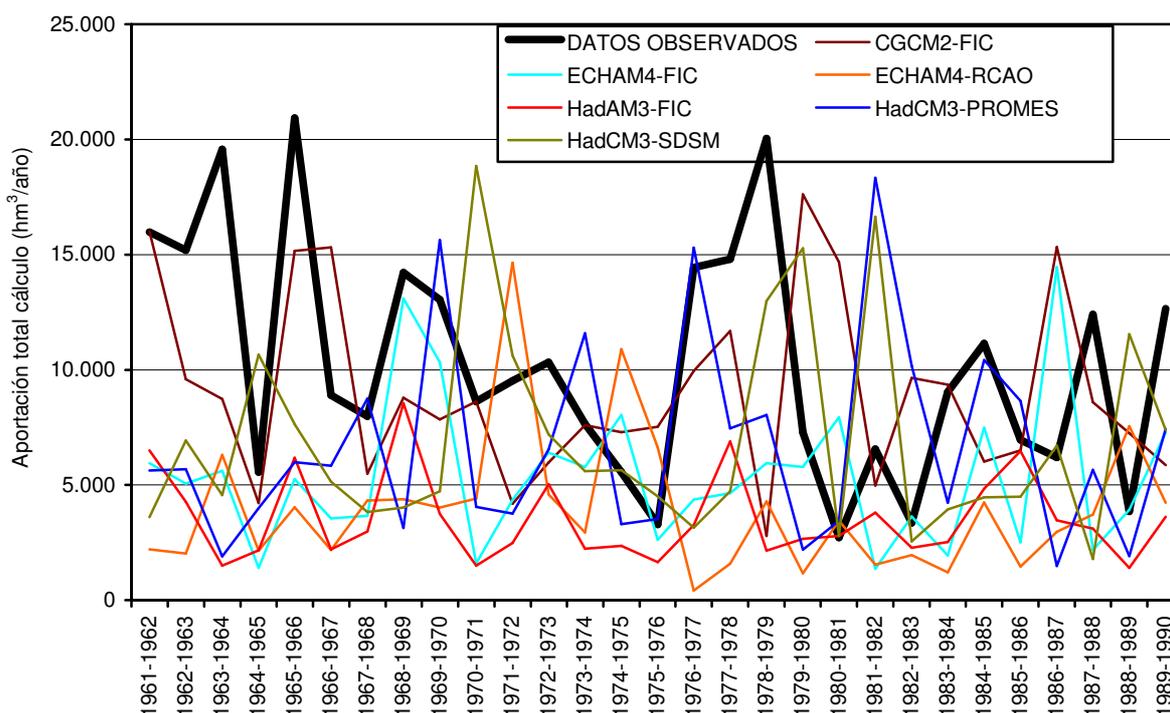


Figura 35. Series de aportación anual en el periodo de control (1961-1990) en la demarcación hidrográfica del Tajo.

Se observa, por una parte, una gran variabilidad entre las series de los diferentes modelos y, por otra, una subestimación de la serie “observada” por parte de todos los modelos, sobretudo en la primera mitad del periodo de estudio. Mientras que la aportación anual media a partir de los datos observados es de 10.300 hm³/año, para los diferentes modelos está comprendida entre 3.500 hm³/año y 9.000 hm³/año. Por lo tanto, hay que tener en cuenta que esta incertidumbre y desviaciones en los datos de partida se trasladará con toda seguridad al cálculo del recurso disponible.

La evolución temporal de las aportaciones anuales de cada uno de los modelos a lo largo de los cuatro períodos de estudio se recoge en el Anejo 1. En este mismo anejo también figuran los diagramas de cajas de las series de aportaciones anuales.

4.5.1.2. DEMANDAS

Para evaluar el recurso disponible de la demarcación se ha colocado al final de la cuenca una demanda que representa al conjunto de demandas de toda la demarcación, como se aprecia en la Figura 37.

4.5.1.3. CAUDALES MÍNIMOS

En la demarcación del Tajo no se han considerado caudales mínimos porque a fecha de 1 de mayo de 2011 todavía no había salido a información pública el Plan de Cuenca.

4.5.1.4. ELEMENTOS DE REGULACIÓN

En la demarcación del Tajo se han considerado 40 embalses que representan una capacidad media de 10.000 hm³ y se muestran en la Figura 34. Los que tienen en la actualidad un uso exclusivamente hidroeléctrico son: Torrejón-Tajo, Torrejón-Tiétar, Cedillo y Alcantara II.



EFFECTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LOS RECURSOS HÍDRICOS DISPONIBLES EN LOS SISTEMAS DE EXPLOTACIÓN

CEDEX

En la Tabla 24 se refleja el volumen máximo mensual de cada embalse (o grupo de embalses en su caso). En los embalses Gabriel y Galán, Guajaraz, Torcón y Finisterre se ha considerado un volumen mínimo distinto de 0 por considerarse relevante respecto al volumen máximo del embalse.

EMBALSE	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP
La Aceña	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23
Alcántara	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000
Alcorlo	168	168	168	164	164	164	169	169	169	173	173	173
El Atance	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33
El Atazar, La Pinilla, Riosequillo, Puentes Viejas y El Villar	524	489	462	462	466	507	541	572	577	577	577	562
Azután	107	107	107	107	107	107	107	107	107	107	107	107
Baños	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39
Beleña	38	38	38	28	28	28	41	41	41	53	53	53
Borbollón	65	65	61	61	61	65	78	78	78	65	65	65
Buendía	1.651	1.651	1.525	1.525	1.525	1.651	1.651	1.651	1.651	1.651	1.651	1.651
El Burguillo	197	163	163	163	174	174	174	189	189	189	197	197
Cedillo	247	247	247	247	247	247	247	247	247	247	247	247
Entrepeñas	803	803	628	628	628	803	803	803	803	803	803	803
Finisterre	126	126	126	126	126	126	126	126	126	126	126	126
Gabriel y Galán	655	588	602	605	725	751	858	835	897	911	911	685
Guadiloba	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19
Guajaraz y Torcón	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
Navacerrada	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9
Pálmaces	24	24	24	17	17	17	20	20	20	30	30	30
El Pardo	43	10	10	10	10	43	43	43	43	43	43	43
Rivera de Gata	35	35	45	45	45	47	49	49	49	49	49	49
Rosarito y Navalcán	59	59	67	81	88	103	111	113	113	113	113	113
Salor	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13
San Juan y Picadas	139	139	139	139	139	139	139	153	153	153	153	153
Santillana	81	76	76	76	76	80	83	83	84	84	84	84
La Tajera	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57
Torrejón-Tajo, Torrejón-Tiétar y Arrocampo	222	222	222	222	222	222	222	222	222	222	222	222
El Vado	54	52	52	52	52	53	54	54	56	56	56	56
Valdecañas	1.374	1.374	1.374	1.374	1.374	1.374	1.374	1.374	1.374	1.374	1.374	1.374
Valmayor	119	118	118	118	118	119	120	120	121	122	122	121
El Vellón	35	34	34	34	34	35	37	37	38	38	38	37
TOTAL MENSUAL	9.984	9.806	9.506	9.502	9.643	10.073	10.264	10.303	10.375	10.404	10.412	10.168

Tabla 24. Embalses de la demarcación hidrográfica del Tajo. Distribución del volumen máximo mensual (hm³/mes).

4.5.1.5. CONDUCCIONES

En la siguiente tabla se indican las capacidades máximas de las conducciones consideradas en la demarcación del Tajo.

Nombre conducción	Qmax (hm ³ /mes)
Conexión Entrepeñas-Buendía	436
Estremera-Aranjuez	5
Conexión Aranjuez-Madrid	5
Abastecimiento Sagra-Torrijos desde Estremera	1,61
Abastecimiento Mdad. Algodor desde Estremera	2
Abastecimiento Mdad. Algodor desde Finisterre	2
Abastecimiento Sagra-Toledo desde Picadas	2,42
Impulsión S. Juan	17,1
Impulsión Picadas	11,4
Canal de Valmayor	18,15
Canal del Sorbe	20,74
Canal Jarama	20,74
Canal del Atazar	36,3
Canal del Vellón	20,72
Canal de Santillana	10,37
Conducción Valmayor-El Goloso	10,37
Canal Isabel II	71,23
Trasvase Nieves-Valmayor	77,7
Trasvase La Aceña-La Jarosa	25,92
Real Acequia del Jarama	25,9
Bombeo Añover	20,74
Canal del Alberche	23,33
Bombeo Las Parras ⁴	7,7
Canal del Alagón	112
Canal del Árrago	28

Tabla 25. Capacidad máxima de las conducciones consideradas en la demarcación del Tajo.

4.5.2. ESQUEMA DE CÁLCULO

En la Figura 36 se muestra el esquema completo de la demarcación del Tajo donde aparecen todas las demandas distribuidas.

⁴ La capacidad del bombeo de las Parras es de 3 m³/s según el Plan Especial de actuación en situaciones de alerta y eventual sequía de la cuenca hidrográfica del Tajo (CHT, 2007).

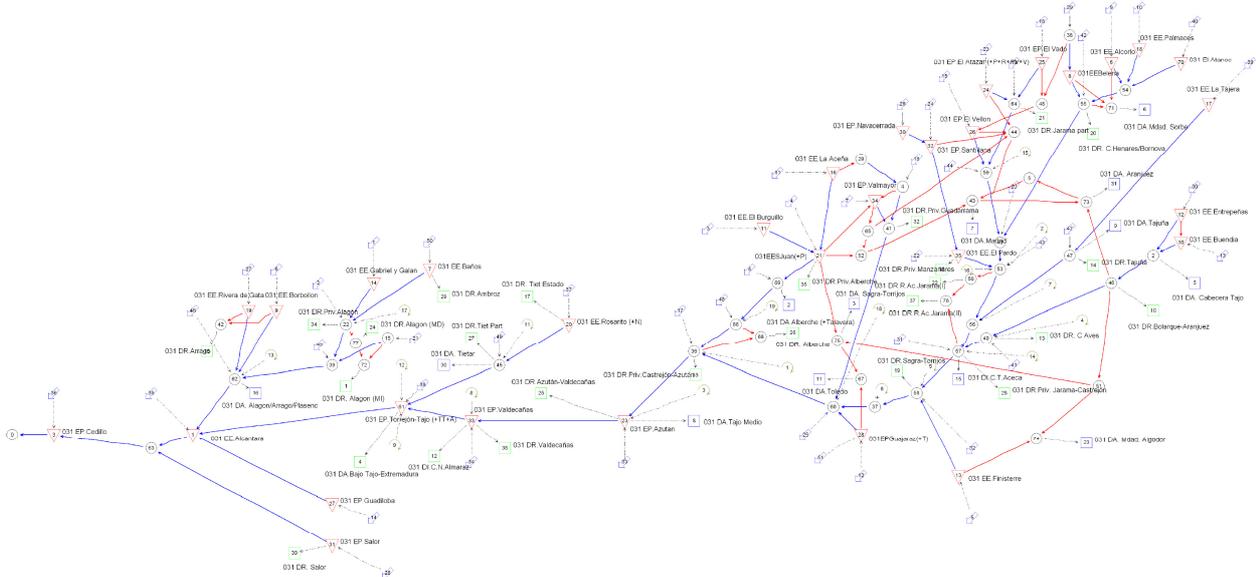


Figura 36. Esquema completo de optimización de la demarcación del Tago. Demanda distribuida

Para el cálculo del recurso disponible, según se indica en los apartados 3.2.3 se ha sustituido el conjunto de demandas por una única demanda al final de la cuenca, como se muestra en la Figura 37.

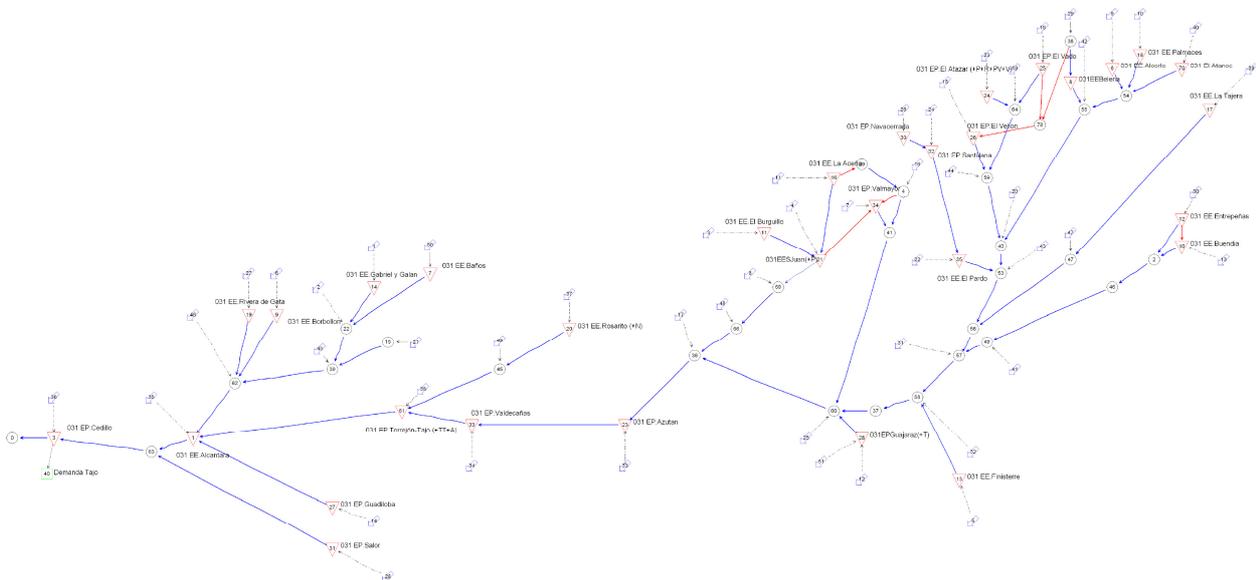


Figura 37. Esquema simplificado de optimización de la demarcación del Tago. Demanda concentrada

4.5.3. RESULTADOS

4.5.3.1. PERIODO DE CONTROL: COMPARACIÓN ENTRE LOS RESULTADOS OBTENIDOS A PARTIR DE DIFERENTES PROYECCIONES Y DE DATOS OBSERVADOS

En la Figura 38 se muestran las desviaciones de las estimaciones de la aportación anual media y el RD, tanto para demanda uniforme como variable, de los diferentes modelos de cambio climático respecto a las estimaciones obtenidas con datos observados (referencia).

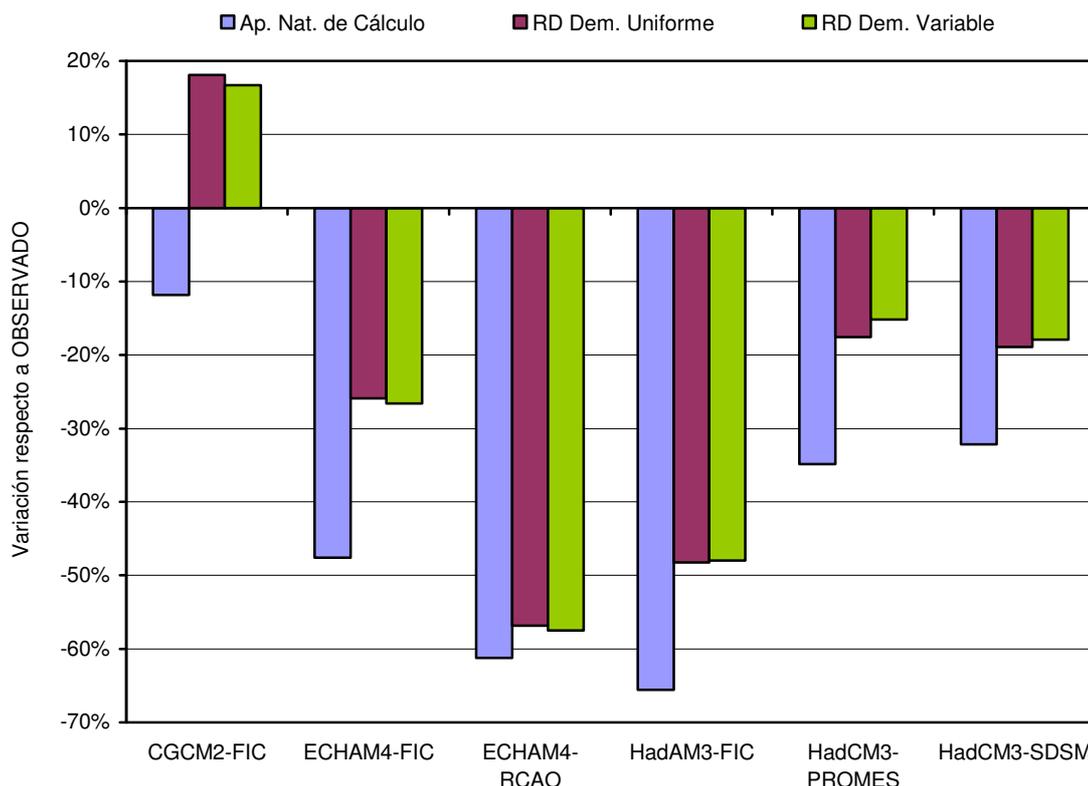


Figura 38. Desviación de las estimaciones de la aportación anual media y el recurso disponible de los diferentes modelos climáticos respecto a los datos observados en la demarcación hidrográfica del Tajo.

Se puede observar que, en general, las desviaciones en la estimación del RD están estrechamente ligadas a desviaciones en la aportación anual media, como ya se intuyó en el apartado 4.5.1.1. También es evidente que la variación del RD respecto al periodo de control es similar en ambos tipos de demanda para todos los modelos.

Tanto la aportación anual media como el RD presentan disminuciones importantes respecto a “observado” en la mayoría de modelos (32%-66% en aportaciones; 15%-58% en RD), exceptuando el modelo CGCM2-FIC. Y las máximas reducciones se producen con los modelos ECHAM4-RCAO y HadAM3-FIC.

El modelo CGCM2-FIC, en cambio, presenta incrementos en el RD respecto a P1, tanto para demanda uniforme como variable, de aproximadamente un 20%, con una disminución de la aportación anual media de un 12%. Este resultado podría estar relacionado con la distribución de las series de aportaciones y sobretudo la de sus mínimos (ver diagrama de cajas ANEJO 1).



4.5.3.2. EVOLUCIÓN DEL RECURSO DISPONIBLE CON RESPECTO AL PERIODO DE CONTROL PARA LAS DISTINTAS PROYECCIONES

En la Tabla 26 y en la Tabla 27 se muestra, para cada tipo de demanda, la variación del RD respecto al periodo de control (1961-1990), para cada uno de los modelos y periodos estudiados: P2 (2011-2040), P3 (2041-2070) y P4 (2071-2100). Según el grado de variación del RD, la celda aparece en verde (> 0%), naranja (de -20% a 0%) o rojo (< -20%).

Escenario	Periodo	CGCM2-FIC	ECHAM4-FIC	HadAM3-FIC	HadCM3-SDSM	HadCM3-PROMES	ECHAM4-RCAO	Media
A2	2011-2040	-16	-31		-1			-16
	2041-2070	-13	-50		-13			-25
	2071-2100	-34	-48	-7	-39	-38	-50	-36
B2	2011-2040	-17	-45		-36			-33
	2041-2070	-11	-25		-5			-14
	2071-2100	-15	-37	-25	10	-53	-7	-21

Tabla 26. . Variación del recurso disponible (%) para demanda uniforme en cada periodo respecto al período de control en la demarcación hidrográfica del Tajo.

Escenario	Periodo	CGCM2-FIC	ECHAM4-FIC	HadAM3-FIC	HadCM3-SDSM	HadCM3-PROMES	ECHAM4-RCAO	Media
A2	2011-2040	-12	-28		10			-10
	2041-2070	-10	-50		-13			-24
	2071-2100	-31	-48	-2	-40	-28	-51	-33
B2	2011-2040	-14	-42		-17			-24
	2041-2070	-12	-27		-9			-16
	2071-2100	-4	-38	-22	13	-49	-7	-18

Tabla 27. . Variación del recurso disponible (%) para demanda variable en cada periodo respecto al período de control en la demarcación hidrográfica del Tajo.

En la Figura 39 se representan estos mismos resultados junto con la variación de la aportación anual media.

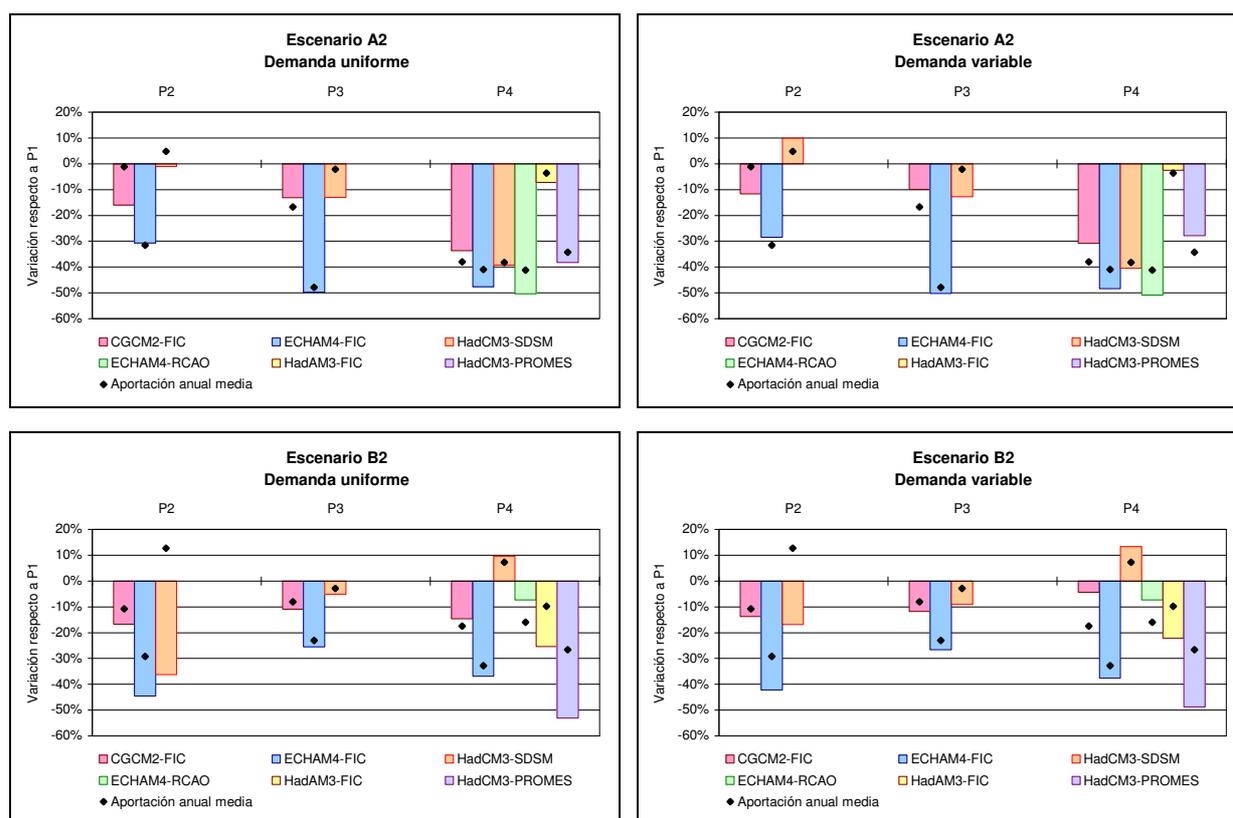


Figura 39. . Evolución de la variación del recurso disponible (%) de P2 a P4 respecto al periodo de control (P1) en la demarcación hidrográfica del Tajo.

En general, para un mismo escenario climático (A2/B2) el RD obtenido no se ve afectado por el tipo de demanda, excepto con el modelo HadCM3-SDSM.

En el escenario A2 se aprecia una tendencia decreciente del RD desde P2 a P4. El modelo CGCM2-FIC presenta una mayor reducción entre P3 y P4, mientras que el ECHAM4-FIC experimenta el mayor salto entre P2 y P3. El modelo HadCM3-SDSM vuelve a presentar una reducción creciente y sostenida desde P2 a P4.

En el escenario B2 no se evidencia una tendencia decreciente del RD en el tiempo. En dos de los modelos el RD se mantiene bastante constante entre P2 y P4 o incluso mejora (e.g. CGCM2-FIC). Y en un tercer modelo la reducción mayor es en P2, pero se recupera hasta mejorar incluso los valores del periodo de control en P4.

Según los resultados del presente estudio, el escenario B2 supone una mejora en el RD frente al A2 en los periodos P3 y P4. En P3 el escenario B2 es más favorable en dos de los tres modelos (un tercero se mantiene estable) y en P4 en cuatro de los seis modelos. Los modelos que no reflejan mejora en P4 son el HadAM3-FIC y el HadCM3-PROMES.

El modelo HadCM3-SDSM presenta reducciones del RD en algunos periodos de estudio a pesar de experimentar incrementos en la aportación anual media (ver Figura 39). Esto puede suceder porque las aportaciones anuales en P2 son, en general, mayores que las de P1 pero con valores mínimos menores, que pueden limitar el RD (ver diagrama de cajas del ANEJO 1). En estos casos, la demanda uniforme se ve más afectada que la variable por tener una garantía mucho más estricta (100%).

4.6. DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DEL GUADIANA

4.6.1. ELEMENTOS QUE INTEGRAN EL SISTEMA

4.6.1.1. APORTACIONES

El cálculo de las aportaciones en la demarcación hidrográfica del Guadiana se ha realizado en 45 puntos, cuya ubicación se representa en la Figura 40. La aportación calculada en dichos puntos prácticamente corresponde con el 100% de la aportación total en régimen natural de la cuenca considerada en el modelo de optimización.

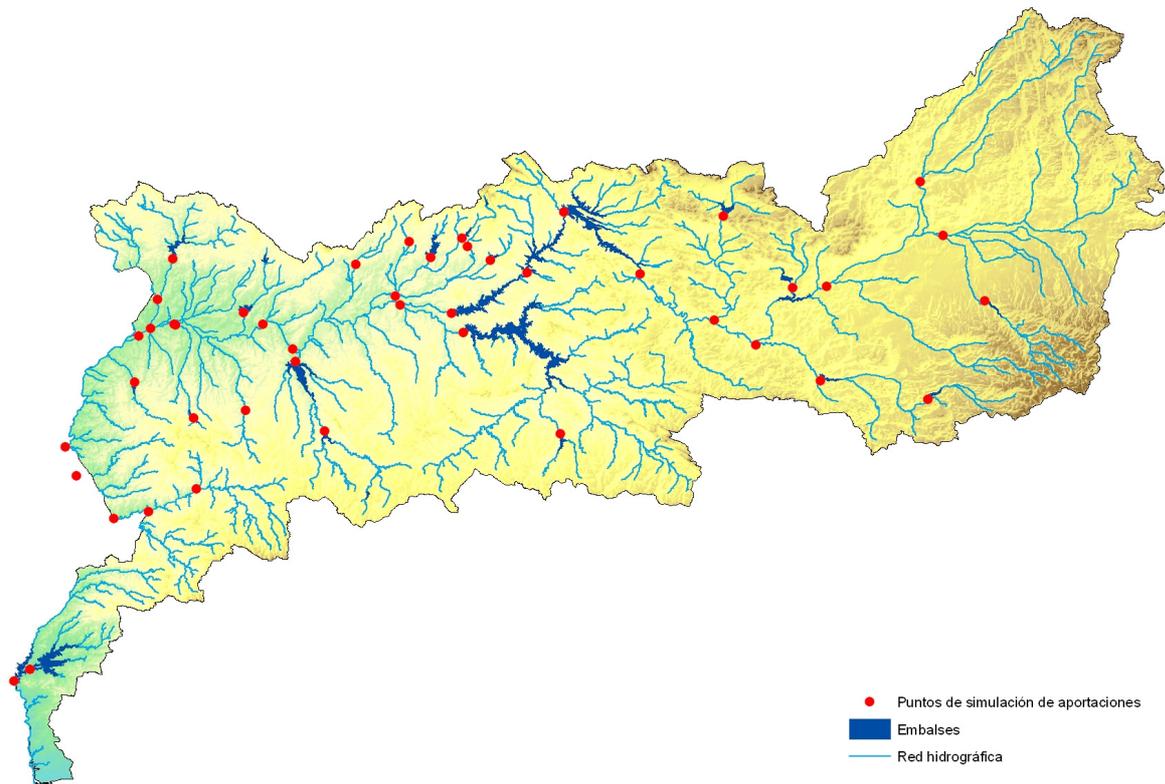


Figura 40. Demarcación hidrográfica del Guadiana

En la Figura 40 se observa que algunos puntos de aportación quedan situados fuera de la cuenca hidrográfica representada. El Guadiana es un río internacional que nace y discurre por territorio español hasta Badajoz, punto a partir del cual se convierte en un río fronterizo, para entrar posteriormente en Portugal y convertirse de nuevo, antes de su desembocadura, en río fronterizo. La aportación natural que se ha considerado en este estudio ha sido exclusivamente la generada en territorio español, aunque algunos puntos se han ubicado fuera de estos límites, en puntos de la red de drenaje donde varios afluentes españoles confluyen, con el objetivo de contar para el cálculo con la aportación de estos pequeños cauces.

En la Figura 41 se comparan las series de aportación anual de cálculo, en el periodo de control (1961-1990), obtenidas mediante el modelo SIMPA, correspondientes a los datos climáticos observados y a aquellos calculados mediante los diferentes modelos de cambio climático.

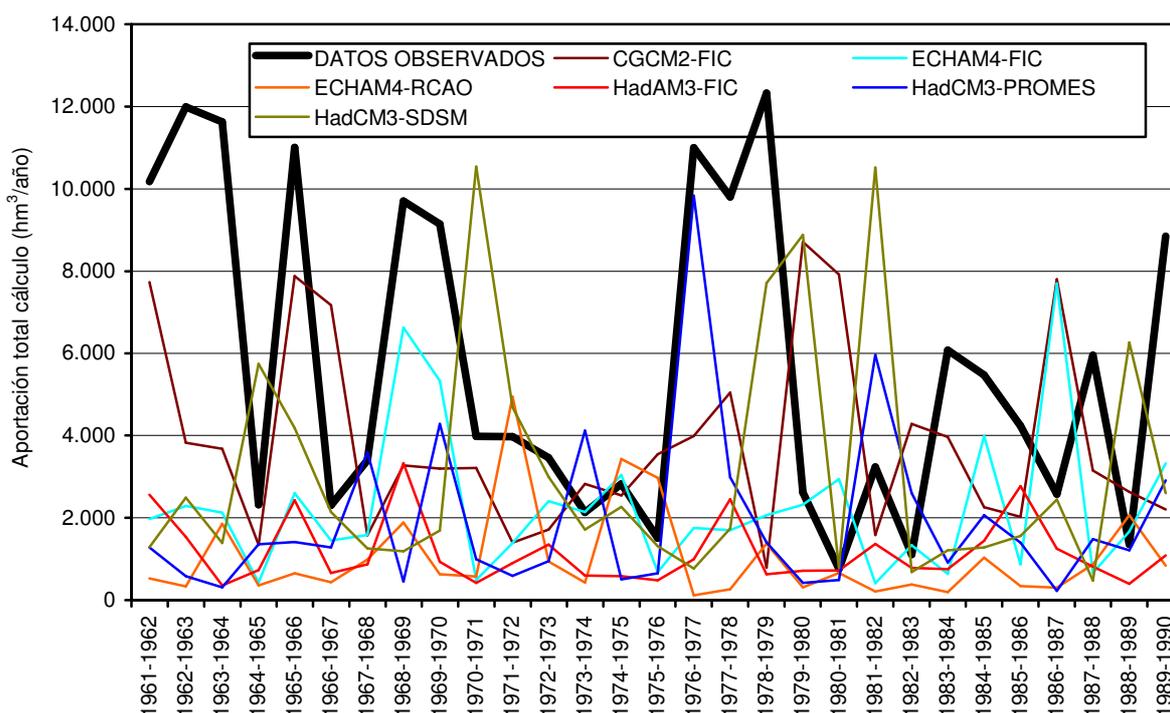


Figura 41. Series de aportación anual en el periodo de control (1961-1990) en la demarcación hidrográfica del Guadiana

La comparación de estas series refleja una subestimación generalizada de las aportaciones obtenidas mediante los modelos de cambio climático respecto de las calculadas a partir de los datos climáticos observados. Como indicación, cabe reflejar que la aportación media anual a partir de estos datos observados es de 5.687 hm³/año, mientras que para los modelos de cambio climático ésta varía entre 1.030 hm³/año, para el ECHAM4-RCAO, y 3.836 hm³/año, para el CGCM2-FIC.

En general, las series de aportación anual calculadas mediante los diferentes modelos de cambio climático distan bastante del patrón de distribución temporal que presenta la serie “observada”. Destacan las series de aportación anual correspondientes a los modelos ECHAM4-RCAO y HadAM3-FIC por ser las más alejadas de los valores de la serie “observada”.

Estas conclusiones reflejan una gran incertidumbre en las series de aportaciones en régimen natural obtenidas mediante los modelos de cambio climático. Por ser estas series el dato de partida para el cálculo del recurso disponible, se deberá tener en cuenta esta incertidumbre en dicho cálculo.

La secuencia temporal de la aportación anual para cada modelo durante los cuatro períodos analizados se recoge en el Anejo 1. En este mismo Anejo también figuran los diagramas de cajas de las series de aportación anual por periodo.

4.6.1.2. DEMANDAS

Según lo indicado en el apartado 3.2.3, para la obtención del recurso disponible se han agrupado todas las demandas de la demarcación, que pueden verse en la Figura 42, en una única demanda colgada al final de la cuenca, tal como se observa en la Figura 43.



4.6.1.3. CAUDALES MÍNIMOS

En el caso de la demarcación hidrográfica del Guadiana, no se han considerado tramos con restricciones ambientales puesto que a 1 de mayo de 2011 el borrador del Plan de Cuenca no había sido presentado y sometido a información pública.

4.6.1.4. ELEMENTOS DE REGULACIÓN

En la demarcación hidrográfica del Guadiana se han tenido en cuenta 27 embalses que suman una capacidad media de 8.894 hm³ y que aparecen reflejados en la Fgiura 40.

En la Tabla 28 se recogen los valores de volúmen máximo mensual considerado en cada embalse. En aquellos casos en que se han agrupado varios embalses en un único elemento de regulación en el esquema de optimización, la Tabla 28 refleja la suma de los volúmenes máximos de cada uno de ellos.

El volumen mínimo de todos los embalses se ha considerado irrelevante, excepto en el caso del embalse de Orellana, para el que se establece un volumen mínimo de 274 hm³, tanto por motivos ambientales (zona RAMSAR) y para asegurar que el nivel del embalse se mantiene por encima de la cota del canal de riego y permitir así su funcionamiento.

EMBALSE	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP
Alange	809	809	809	809	809	809	809	809	809	809	809	809
Andévalo	602	602	602	602	602	602	602	602	602	602	602	602
La Cabezuela	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42
Los Canchales y Horno Tejero	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
Chanza	341	341	341	341	341	341	341	341	341	341	341	341
Cíjara	1.505	1.505	1.505	1.505	1.505	1.505	1.505	1.505	1.505	1.505	1.505	1.505
La Colada	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55
García de Sola	526	526	526	526	526	526	526	526	526	526	526	526
Gasset	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39
Los Molinos de Matachel y Llerena	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44
Nogales	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
Orellana	767	767	767	767	767	767	767	767	767	767	767	767
Peñarroya	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48
Piedra Aguda	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16
Ruecas, Cancho del Fresno, Cubilar y Gargáligas	85	85	85	85	85	85	85	85	85	85	85	85
La Serena y Zújar	3.364	3.364	3.364	3.364	3.364	3.364	3.364	3.364	3.364	3.364	3.364	3.364
Sierra Brava	220	220	220	220	220	220	220	220	220	220	220	220
Torre de Abraham	174	174	174	174	174	174	174	174	174	174	174	174
La Vega del Jabalón	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32
El Vicario	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
Villar del Rey	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130

EMBALSE	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP
TOTAL MENSUAL	8.894	8.894	8.894	8.894	8.894	8.894	8.894	8.894	8.894	8.894	8.894	8.894

Tabla 28. Embalses de la demarcación hidrográfica del Guadiana. Distribución del volumen máximo mensual (hm^3/mes).

4.6.1.5. CONDUCCIONES

En la Tabla 29 se recogen las conducciones consideradas en el esquema de optimización de la demarcación del Guadiana junto al valor de su capacidad.

Nombre conducción	Qmax (hm^3/mes)
Conexión E. Torre de Abraham-E. Gasset	1
Canal de las Dehesas. Hasta conexión con A. Rucas	97,2
Canal de las Dehesas. Desde conexión con A. Rucas	56,5
Conexiones E. Gargáligas, E. Cubilar y Azud de Rucas-Canal de las Dehesas	121,3
Canal de Orellana	160,7
Conexión E. Sierra Brava-Canal de Orellana	38,9
Túnel de conexión E. Zújar-E. Orellana	81,4
Bombeo de Piedra Aguda	1,34
Impulsión desde E. Chanza	51,8
Impulsión de Bocachanza	10

Tabla 29. Capacidad máxima de las conducciones consideradas en la demarcación del Guadiana.

Conexiones E. Gargáligas, E. Cubilar y Azud de Rucas-Canal de las Dehesas no se corresponde con una conducción existente en la realidad, sino con una agrupación simplificada efectuada en el esquema que permite reproducir el funcionamiento del sistema de una manera suficientemente aproximada.

4.6.2. ESQUEMA DE CÁLCULO

La Figura 42 muestra el esquema completo de la demarcación hidrográfica del Guadiana, donde se observan todas las demandas distribuidas.

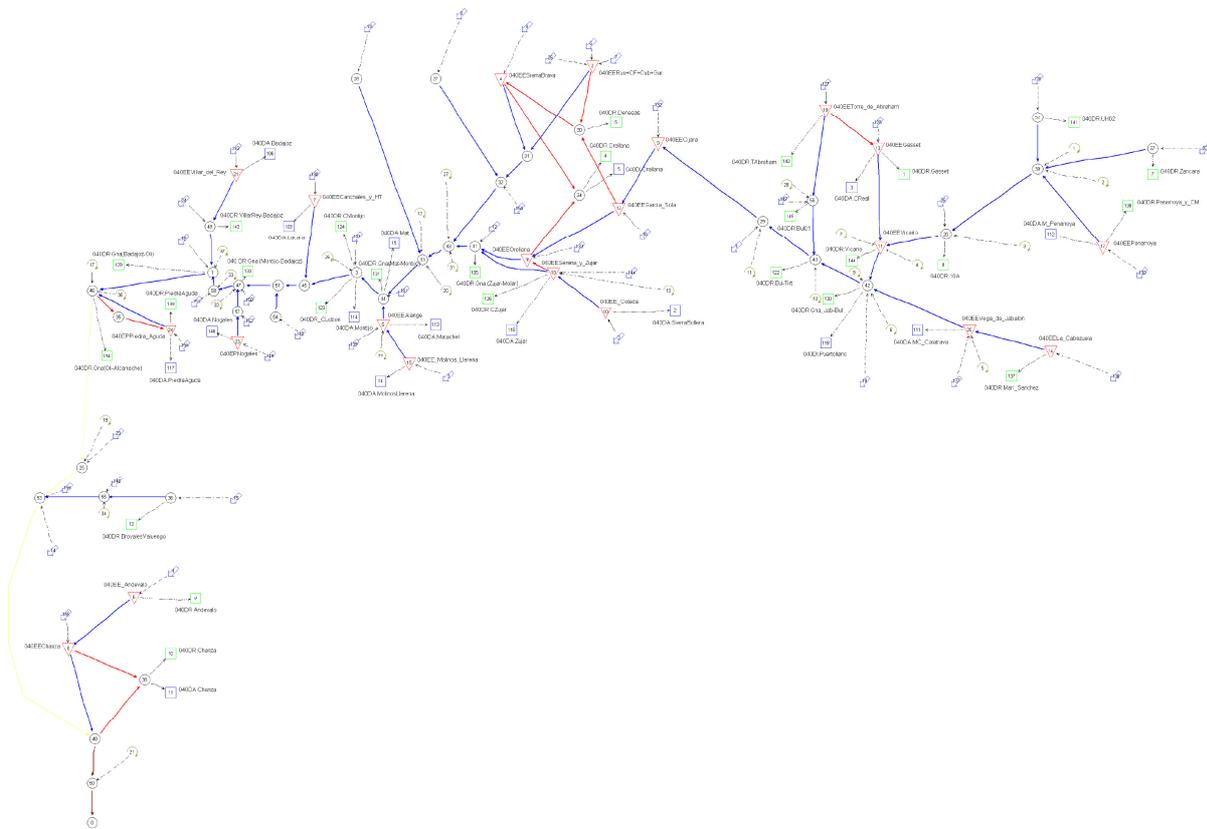


Figura 42. Esquema completo de optimización de la demarcación del Guadiana. Demanda distribuida

Tal como se ha mencionado en los apartados 3.2.3 y 4.4.1.2, para evaluar el recurso disponible, se ha simplificado el esquema de optimización agrupando el total de las demandas en una sola demanda situada al final de la cuenca, como se recoge en la Figura 43.

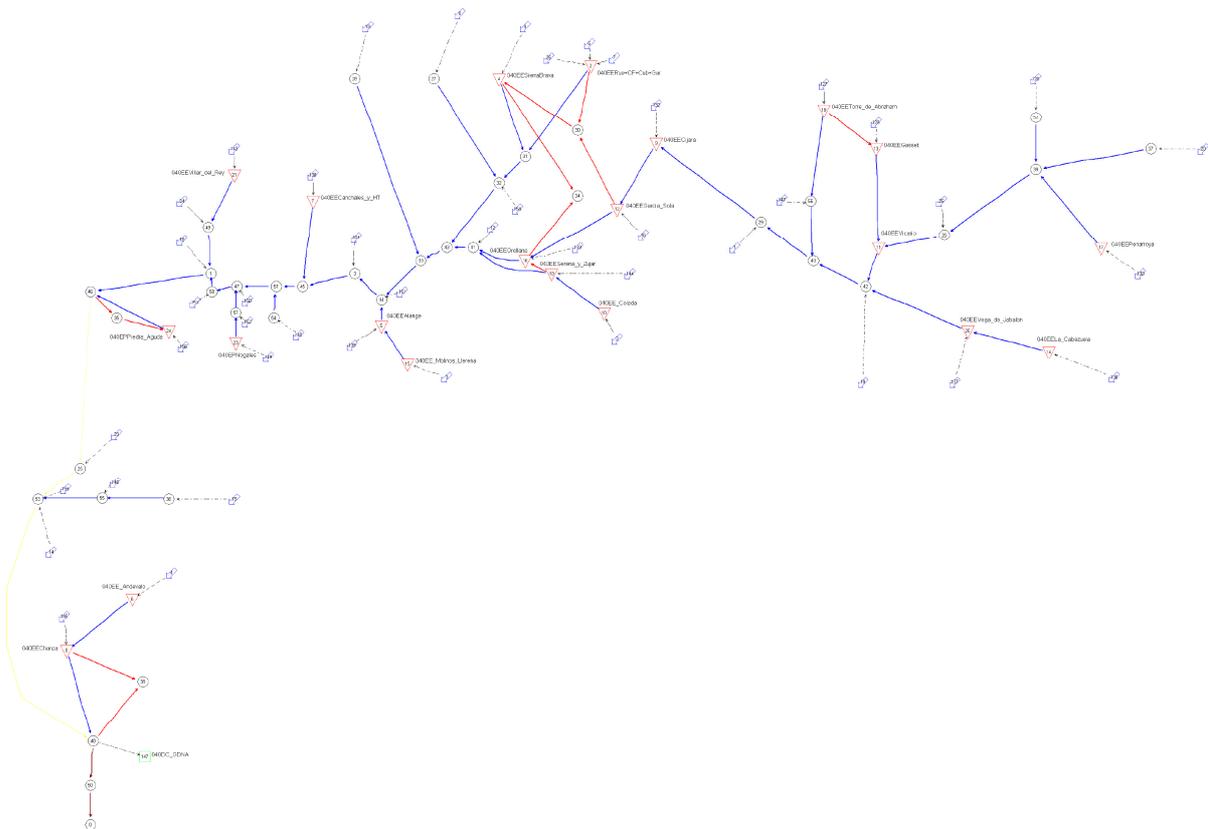


Figura 43. Esquema simplificado de optimización de la demarcación del Segura. Demanda concentrada

En los esquemas de optimización mostrados destacan como particularidades:

- Tramo final de la red hidrográfica en marrón. Representa las masas de agua de transición que conforman el estuario del Guadiana, que se extiende desde aguas abajo de la presa de Chanza hasta su propia desembocadura.
- Tramos ficticios del río Guadiana. Corresponden a aquellos tramos del Guadiana que discurren por territorio portugués. Aunque la aportación a estos tramos del Guadiana que discurren por territorio portugués no es tenida en cuenta en el esquema de optimización, es preciso representar estos tramos para dar continuidad a la red y así acumular a través de ella los afluentes españoles que vierten a ese tramo.

4.6.3. RESULTADOS

4.6.3.1. PERÍODO DE CONTROL: COMPARACIÓN ENTRE LOS RESULTADOS OBTENIDOS A PARTIR DE DIFERENTES PROYECCIONES Y DE DATOS OBSERVADOS.

En la Figura 44 se muestran las desviaciones de las estimaciones de la aportación anual media y el recurso disponible (RD), tanto para demanda uniforme como variable, de los diferentes modelos de cambio climático respecto a las estimaciones obtenidas con datos observados (referencia).

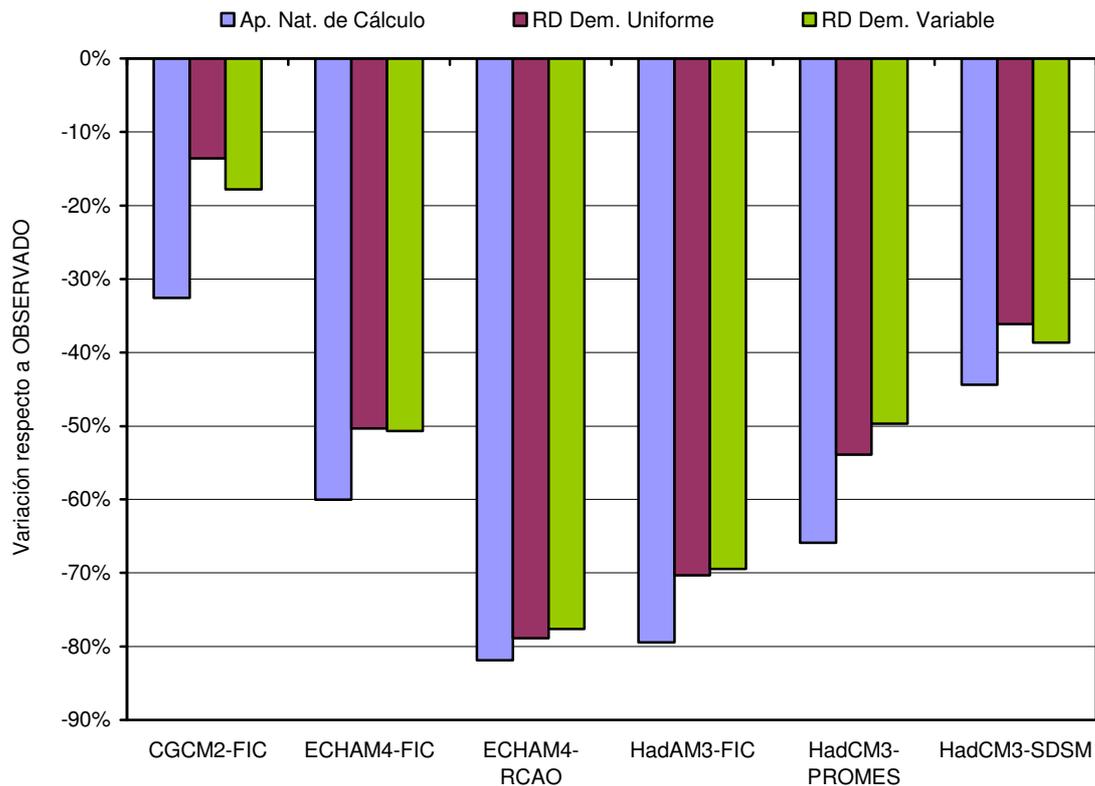


Figura 44. Desviación de las estimaciones de la aportación anual media y el recurso disponible de los diferentes modelos climáticos respecto a los datos observados en la demarcación hidrográfica del Guadiana

En la aportación media anual estimada a partir de los modelos de cambio climático, se aprecia una disminución de entre el 33% y el 82% respecto a la aportación media “observada”. Destacan los modelos ECHAM4-RCAO y HadAM3-FIC, en los que esta disminución alcanza su máximo.

Se observa que estas desviaciones en la estimación del recurso en régimen natural se trasladan a la estimación del RD en una proporción algo inferior, amortiguándose más este traslado cuanto menor es la variación. Este resultado puede ser fruto de la regulación de la cuenca, que consigue suavizar el efecto de pequeñas reducciones de la aportación sobre el recurso disponible, pero que no es capaz de laminar este efecto cuando la aportación disminuye en mayor grado.

No se aprecia una diferencia notable entre la reducción sobre el RD cuando se trata de demanda uniforme y la que se produce al simular una demanda variable.

4.6.3.2. EVOLUCIÓN DEL RECURSO DISPONIBLE CON RESPECTO AL PERÍODO DE CONTROL PARA LAS DISTINTAS PROYECCIONES

En la Tabla 30 y en la Tabla 31 se muestra, para cada tipo de demanda, la variación del RD respecto al periodo de control (1961-1990), para cada uno de los modelos y periodos estudiados: P2 (2011-2040), P3 (2041-2070) y P4 (2071-2100). Según el grado de variación del RD, la celda aparece en verde (> 0%), naranja (de -20% a 0%) o rojo (< -20%).

Esc	Periodo	CGCM2-FIC	ECHAM4-FIC	HadAM3-FIC	HadCM3-SDSM	HadCM3-PROMES	ECHAM4-RCAO	Media
A2	2011-2040	-23	-35		12			-15
	2041-2070	-19	-58		-32			-36
	2071-2100	-45	-54	-15	-53	-40	-51	-43
B2	2011-2040	-16	-40		0			-19
	2041-2070	-16	-23		-14			-18
	2071-2100	-17	-41	-23	5	-41	-11	-21

Tabla 30. Variación del recurso disponible (%) para demanda uniforme en cada periodo respecto al período de control en la demarcación hidrográfica del Guadiana.

Esc	Periodo	CGCM2-FIC	ECHAM4-FIC	HadAM3-FIC	HadCM3-SDSM	HadCM3-PROMES	ECHAM4-RCAO	Media
A2	2011-2040	-25	-33		10			-16
	2041-2070	-17	-58		-29			-35
	2071-2100	-46	-56	-16	-54	-43	-51	-44
B2	2011-2040	-18	-40		21			-12
	2041-2070	-13	-22		-16			-17
	2071-2100	-14	-44	-26	3	-34	-11	-24

Tabla 31. Variación del recurso disponible (%) para demanda variable en cada periodo respecto al período de control en la demarcación hidrográfica del Guadiana.

En la Figura 45 se representan los resultados anteriores junto con la evolución de la aportación media anual.

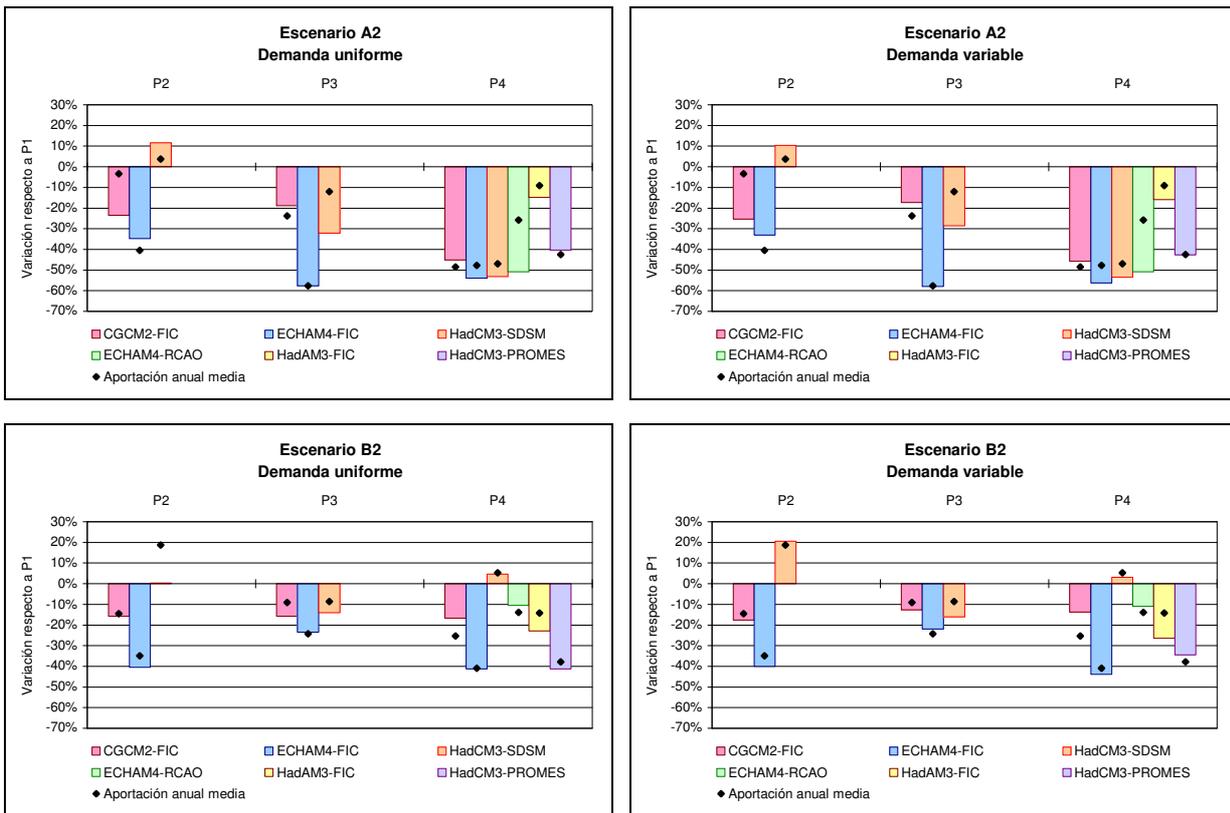


Figura 45. Evolución de la variación del recurso disponible (%) de P2 a P4 respecto al periodo de control (P1) en la demarcación hidrográfica del Guadiana

La evolución del RD dentro de cada escenario climático (A2/B2) no resulta, en general, sensible al tipo de demanda analizada para ninguno de los modelos.

En el escenario A2 se observa una tendencia decreciente del RD desde P2 a P4, tanto para demanda uniforme como variable en todos los modelos, pero cada uno de ellos presenta una evolución diferente a lo largo de los tres periodos de estudio. Según el modelo CGCM2-FIC, el RD entre P2 y P3 se mantiene estable o incluso aumenta levemente, sufriendo una reducción importante en el siguiente intervalo (P3-P4). En el modelo ECHAM4-FIC, se produce una importante reducción del RD de P2 a P3, que se mantiene constante entre P3 y P4 o aumenta ligeramente. En el modelo HadCM3-SDSM el RD presenta una disminución más uniforme desde P2 a P4.

En el escenario B2 se aprecia una reducción del RD en P4 respecto del periodo de control (P1), excepto en el caso del modelo HasCM3-SDSM para el cual el RD en P4 es ligeramente superior al estimado en P1. El RD no varía apreciablemente entre P2 y P4, aunque en P3 aumenta según el modelo ECHAM4-FIC y sin embargo disminuye según el modelo HadCM3-SDSM.

Comparando ambos escenarios, tanto para demanda uniforme como variable, se observa que, a medio y largo plazo, el RD disminuye más en el escenario A2 que en el B2, mientras que a corto plazo (P2) hay disparidad de resultados entre los modelos. Como excepción, el modelo HadAM3-FIC arroja mayores reducciones en el RD para el escenario B2 que para el A2.

Por tanto, puede afirmarse que hay acuerdo entre los modelos en que a medio y largo plazo es más favorable el escenario B2 que el A2 con independencia del tipo de demanda, aunque a corto plazo no hay ningún acuerdo. Es decir, que a medio y largo plazo se observa el efecto sobre la disponibilidad de recurso de las medidas adoptadas en el escenario B2.

En un caso del modelo CGCM2-FIC, la relación entre la aportación y el RD resulta aparentemente anómala, puesto que a una aportación anual media mayor que la de referencia, le corresponde un RD igual al de partida.

Una explicación preliminar de este comportamiento puede obtenerse examinando el diagrama de cajas de las aportaciones anuales correspondientes a este modelo (ANEJO1). En él, se aprecia que la aportación mínima en este período es menor que la correspondiente al periodo de control, lo que podría ser la causa del menor RD si consideramos que los valores mínimos de la aportación son limitantes para el RD. Además, la serie presenta valores extremos (outliers) en mayor número y más elevados que los del periodo de control, lo que hace aumentar la media de la aportación anual, aumento que no se traslada al RD puesto que su estimación queda limitada por los valores inferiores de la serie de aportaciones y no se ve afectada por estos valores tan elevados.

4.7. DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DEL GUADALQUIVIR

4.7.1. ELEMENTOS QUE INTEGRAN EL SISTEMA

4.7.1.1. APORTACIONES

En la Figura 46 se reflejan los 65 puntos considerados para el cálculo de las aportaciones de la demarcación del Guadalquivir. La aportación así evaluada, representa dependiendo de la proyección climática, entre el 92% y el 99% de la aportación total de la demarcación; por tanto, la aportación de la que se prescindir no es relevante en el resultado.

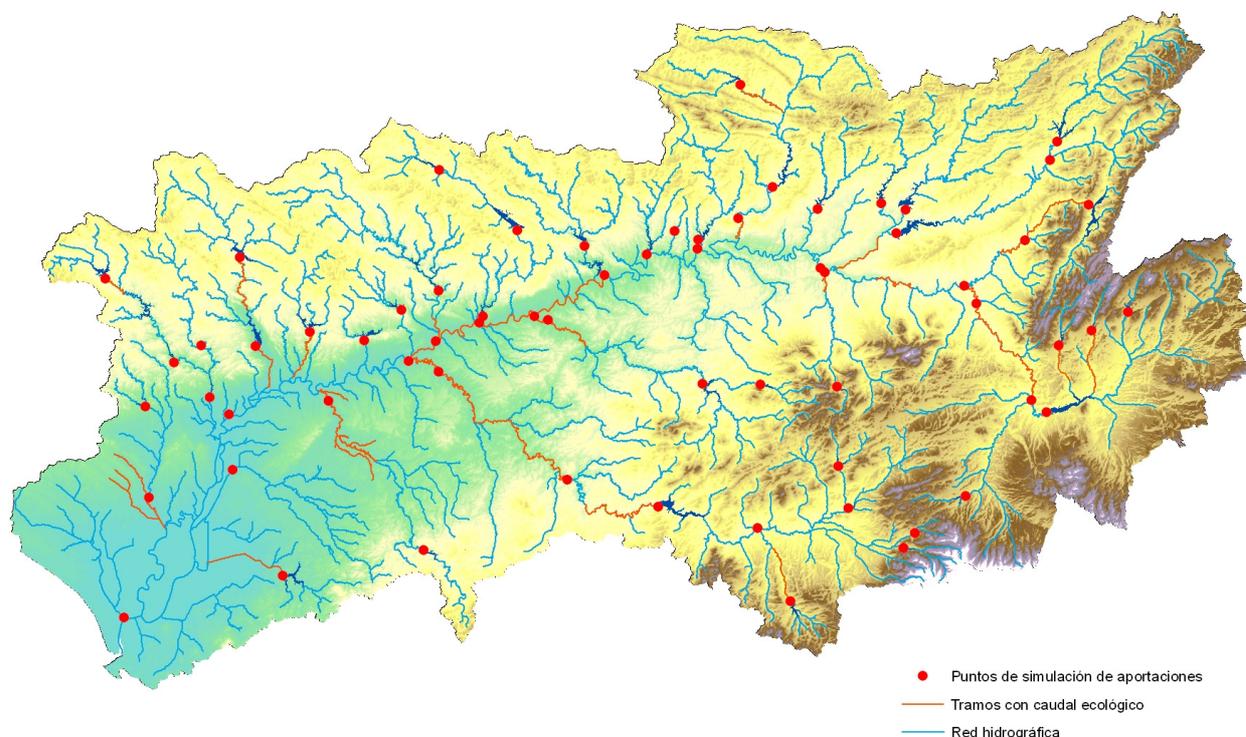


Figura 46. Demarcación hidrográfica del Guadalquivir.

A continuación, en la Figura 47 se muestran las series anuales de aportaciones de cálculo en régimen natural para toda la demarcación para el periodo de control, obtenidas con el modelo SIMPA, a partir de los datos climáticos derivados de los diferentes modelos de cambio climático y a partir de datos climáticos observados.

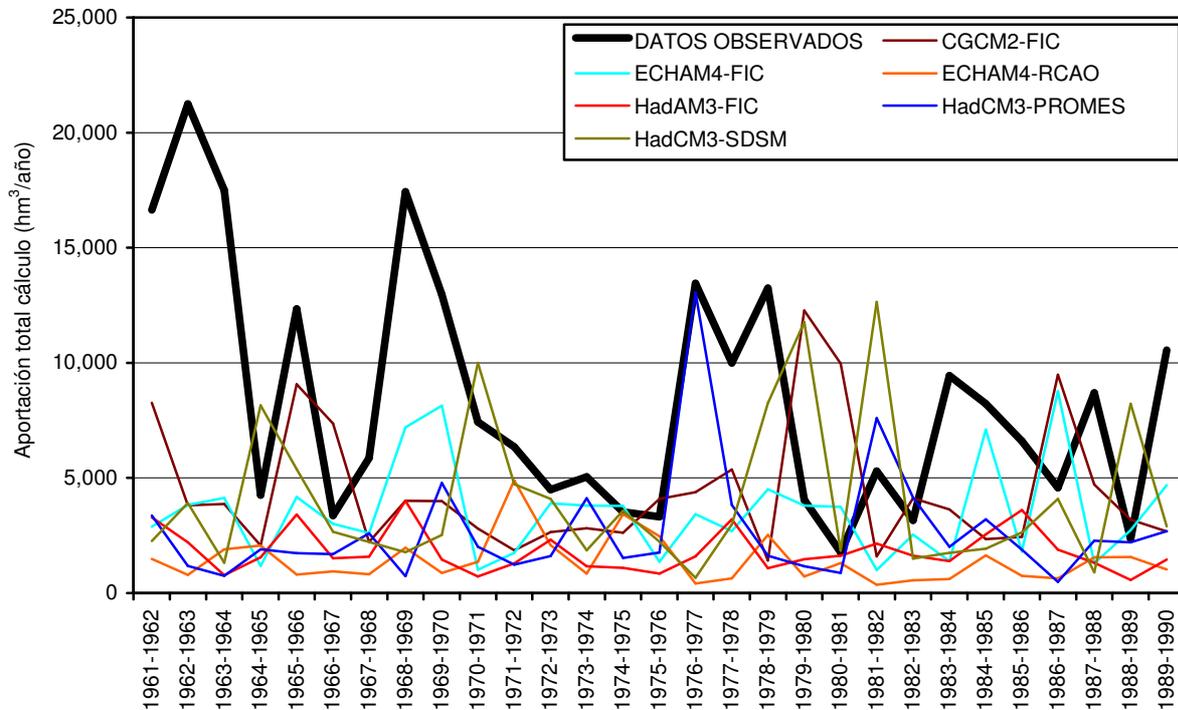


Figura 47. Series de aportación anual en el periodo de control (1961-1990) en la demarcación hidrográfica del Guadalquivir.

En un examen preliminar de las series de aportaciones se aprecia que ninguna sigue un patrón de distribución similar a la serie obtenida a partir de datos climáticos observados. En general, con todos los modelos se obtienen aportaciones inferiores a las resultantes de los datos observados. Mientras la aportación media anual a partir de datos climáticos observados es de 8.382 hm³/año, la media para los distintos modelos de cambio climático es de 2.998 hm³/año, oscilando entre 1.410 hm³/año, para el ECHAM4-RCAO, y 4.451 hm³/año, con el CGCM2-FIC. Igualmente se aprecian muy notables diferencias en la distribución temporal entre los diferentes modelos. Estas circunstancias implican un elevado grado de incertidumbre en las series de aportaciones en régimen natural, que constituyen uno de los datos básicos para la evaluación del recurso disponible. Por tanto debe tenerse en cuenta que esta incertidumbre se trasladará también al cálculo del recurso disponible.

La evolución temporal de las aportaciones anuales de cada uno de los modelos a lo largo de los cuatro períodos considerados se recoge en el (ANEJO1). En este mismo anejo también figuran los diagramas de cajas de las series de aportaciones anuales.

4.7.1.2. DEMANDAS

Para evaluar el recurso disponible de la demarcación se ha colocado en el tramo final de cada una de las masas de agua que vierten a las aguas de transición del río Guadalquivir una demanda, como se aprecia en Figura 49. Así se reproducen de manera más aproximada las posibilidades reales de aprovechamiento, puesto que no es posible derivar desde un punto

situado al final de las aguas de transición por condicionantes de calidad. En definitiva, se consideran 6 demandas concentradas. A continuación se indican los nombres de las demandas y el río al que están asociadas: demanda Arroces (río Guadalquivir), demanda Gergal (río Rivera de Huelva), demanda riego Guadaira (río Guadaira), demanda riego Salado del Morón (río Salado del Morón), demanda riego Guadiamar (río Guadiamar) y demanda riego Madre Marisma del Rocío (Madre Marisma del Rocío).

4.7.1.3. CAUDALES MÍNIMOS

Como se ha señalado en el apartado 3.2.5.2 solo se han considerado tramos con restricciones ambientales en las masas calificadas como estratégicas; dichos tramos aparecen en la Figura 48 y 49 en color verde. El régimen de caudales mínimos para estos casos es el reflejado en la normativa del borrador del Plan Hidrológico en consulta pública. Tanto las masas como la modulación de caudales (m³/s) se recogen indican en la siguiente tabla.

Código masa	Código esquema	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP
ES0511002001	CRGdm02	0,4	0,4	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
ES0511002008	CRCor02	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
ES0511014002	CRGjz02	0,51	0,51	0,51	0,51	0,51	0,51	0,51	0,51	0,51	0,51	0,51	0,51
ES0511100079	CRGIm03	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
ES0511100070	CRJan03	0,05	0,05	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
ES0511100076a	CRGen06	0,82	0,82	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,76	0,76	0,76	0,76
ES0511100076b	CRGen07	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1
ES0511100083	CRGme03	0,51	0,51	0,51	0,51	0,51	0,51	0,51	0,51	0,51	0,51	0,51	0,51
ES0511100110	CRGqv13	4,6	4,6	4,6	4,6	4,6	4,6	4,6	4,6	4,6	4,6	4,6	4,6
ES0511100115	CRGqv03	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6
ES0511100063	CRVia02	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14
ES0511007022	CRCam01	0,24	0,24	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19
ES0511100107	CRCas01	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25

Tabla 32, Distribución de caudales mínimos considerados (m³/s) en la demarcación hidrográfica del Guadalquivir,

Según la Normativa del borrador del Plan Hidrológico de Cuenca, a la masa de agua ES0511100076 le corresponden dos valores distintos de caudal ecológico, según corresponda a la presa de Cordobilla o a la estación de aforos de Écija.

4.7.1.4. ELEMENTOS DE REGULACIÓN

En la demarcación del Guadalquivir se han considerado 44 embalses, que aparecen en la Figura 46, con una capacidad total de 7.607 hm³.

En la tabla siguiente se refleja el volumen máximo mensual de cada embalse (o grupo de embalses en su caso), Los volúmenes mínimos que se han considerado reseñables son los de los embalses de Giribaile y Guadalén, con un volumen mínimo superior al 10% del volumen máximo y un valor mayor de 20 hm³. Asimismo, el embalse de Puente Nuevo, tiene un volumen mínimo de 20hm³ (aunque inferior al 10% de su capacidad), como reserva estratégica de la central térmica a la que da servicio.



EFFECTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LOS RECURSOS HÍDRICOS DISPONIBLES EN LOS SISTEMAS DE EXPLOTACIÓN

CEDEX

EMBALSE	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP
El Agrío	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
Aracena	127	127	108	108	114	114	120	127	127	127	127	127
Arenoso	167	167	121	137	137	137	167	167	167	167	167	167
Bembézar	342	342	253	253	274	274	342	342	342	342	342	342
Bermejales	103	103	86	85	84	89	100	103	103	103	103	103
La Bolera	53	53	45	44	43	46	51	53	53	53	53	53
La Breña	823	823	798	798	798	798	823	823	823	823	823	823
Cala	58	58	52	52	52	52	58	58	58	58	58	58
Canales	71	71	59	59	58	62	69	71	71	71	71	71
Colomera	43	43	36	35	35	37	41	43	43	43	43	43
Cubillas	19	19	16	16	15	16	18	19	19	19	19	19
La Fernandina	245	245	206	203	201	213	238	245	245	245	245	245
Francisco Abellán	58	58	49	48	48	51	57	58	58	58	58	58
Gergal	35	35	25	25	26	29	35	35	35	35	35	35
Giribaile	475	475	404	404	404	404	475	475	475	475	475	475
Guadalén	168	168	121	121	130	130	130	168	168	168	168	168
Guadalmellato	145	145	120	119	117	115	145	145	145	145	145	145
Guadalmena	347	347	281	277	270	267	347	347	347	347	347	347
Huesna	135	135	135	115	115	115	115	135	135	135	135	135
Iznájar	981	981	804	785	765	834	942	981	981	981	981	981
Jándula	322	322	258	251	248	248	322	322	322	322	322	322
José Torán	101	101	83	83	83	83	101	101	101	101	101	101
Martín Gonzalo	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
Melonares	185	185	157	157	157	163	185	185	185	185	185	185
La Minilla y Zufre	233	235	191	191	194	208	224	233	233	233	233	233
Montoro	105	105	105	100	100	100	100	105	105	105	105	105
Negratín	546	546	459	453	448	475	530	546	546	546	546	546
El Pintado	213	213	158	158	170	213	213	213	213	213	213	213
El Portillo	33	33	28	27	27	29	32	33	33	33	33	33
La Puebla de Cazalla	74	74	63	63	63	63	63	74	74	74	74	74
Puente Nuevo	282	282	235	235	235	235	282	282	282	282	282	282
Quentar	14	14	11	11	11	12	13	14	14	14	14	14
Quiebrajano	32	32	27	27	26	27	31	32	32	32	32	32
Retortillo	61	61	45	45	49	49	61	61	61	61	61	61
Rumblar	126	126	93	93	101	101	126	126	126	126	126	126
San Clemente	117	117	99	97	96	102	114	117	117	117	117	117
San Rafael de Navallana	157	157	133	133	133	133	157	157	157	157	157	157
Sierra Boyera	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41
Torre del Águila	64	64	51	51	51	51	64	64	64	64	64	64
Tranco de Beas	498	498	420	415	410	435	485	498	498	498	498	498

EMBALSE	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP
Vadomojón	163	163	140	140	140	140	163	163	163	163	163	163
Víboras	19	19	16	16	16	17	18	19	19	19	19	19
Yeguas	229	229	172	195	195	195	229	229	229	229	229	229
TOTAL MENSUAL	8.046	8.048	6.739	6.703	6.719	6.939	7.864	8.046	8.046	8.046	8.046	8.046

Tabla 33. Embalses de la demarcación hidrográfica del Guadalquivir. Distribución del volumen máximo mensual (hm^3/mes).

4.7.1.5. CONDUCCIONES

En la siguiente tabla se indican las capacidades de las conducciones consideradas en el esquema de la demarcación del Guadalquivir.

Nombre conducción	Qmax (hm^3/mes)
Bombeo de San Rafael de Navallana	18,8
Abastecimiento de Sevilla desde Huesna	2,6
Abastecimiento de Sevilla desde Gergal	15
Abastecimiento de Sevilla desde Melonares	5
Abastecimiento de la demanda de Jaén	Sin limitación
Elevación del Viar	30
Canal del Viar	30
Canal Bajo Guadalquivir (Toma de Peñaflo)	233
Canal Bajo Guadalquivir (resto de tramos)	Sin limitación
Bombeo desde el Canal del Bajo Guadalquivir al embalse de Torre del Águila	8
Conexión desde el embalse de Torre del Águila con el Canal del Bajo Guadalquivir	8
Canal de Bembezar	Sin limitación
Bombeo Jándula-Montoro	1,9

Tabla 34. Capacidad máxima de las conducciones consideradas en la demarcación del Guadalquivir.

El canal del Bajo Guadalquivir se compone de varios tramos, sólo se ha reflejado la capacidad en el punto de toma. Todas aquellas conducciones cuya capacidad se identifica como “sin limitación”, tiene una capacidad de transporte que no resulta condicionante para la estimación del recurso disponible.

4.7.2. ESQUEMA DE CÁLCULO

En la Figura 48 se muestra el esquema completo de la demarcación del Guadalquivir donde aparecen todas las demandas distribuidas.

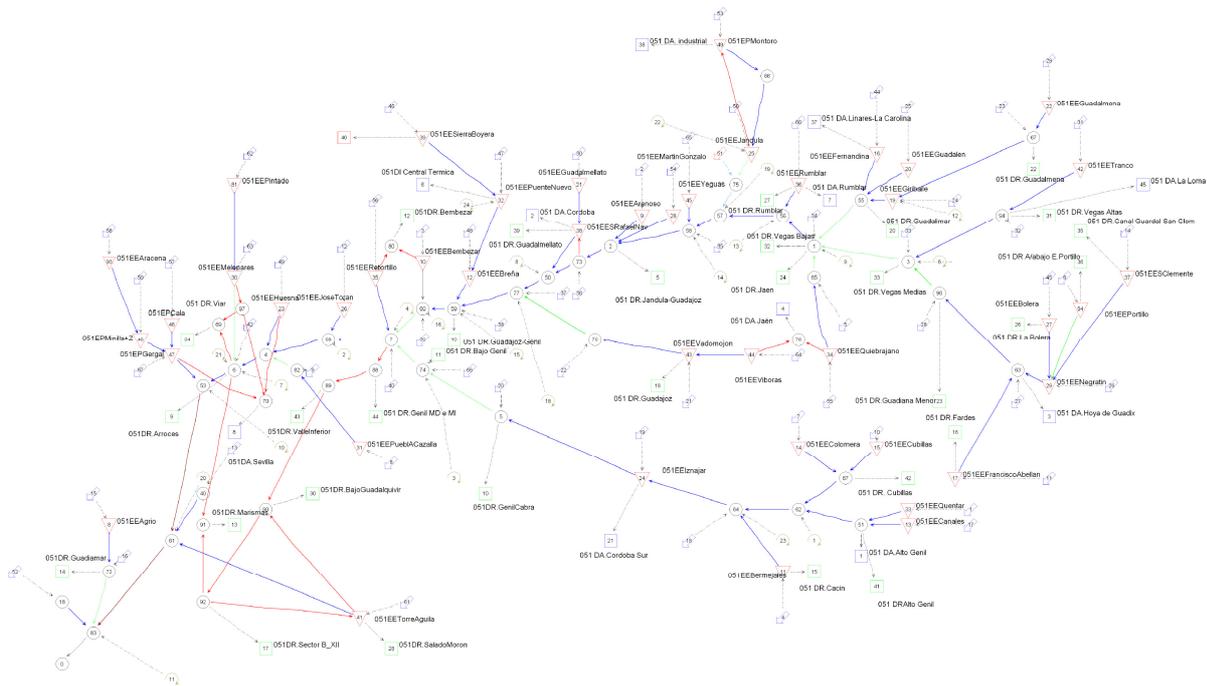


Figura 48. Esquema completo de optimización de la demarcación del Guadalquivir. Demanda distribuida.

Para el cálculo del recurso disponible, según se indica en el apartado 3.2.3 y se justifica más detalladamente en el apartado 4.7.1.2 se ha sustituido el conjunto de demandas por seis, como se muestra en la Figura 49.

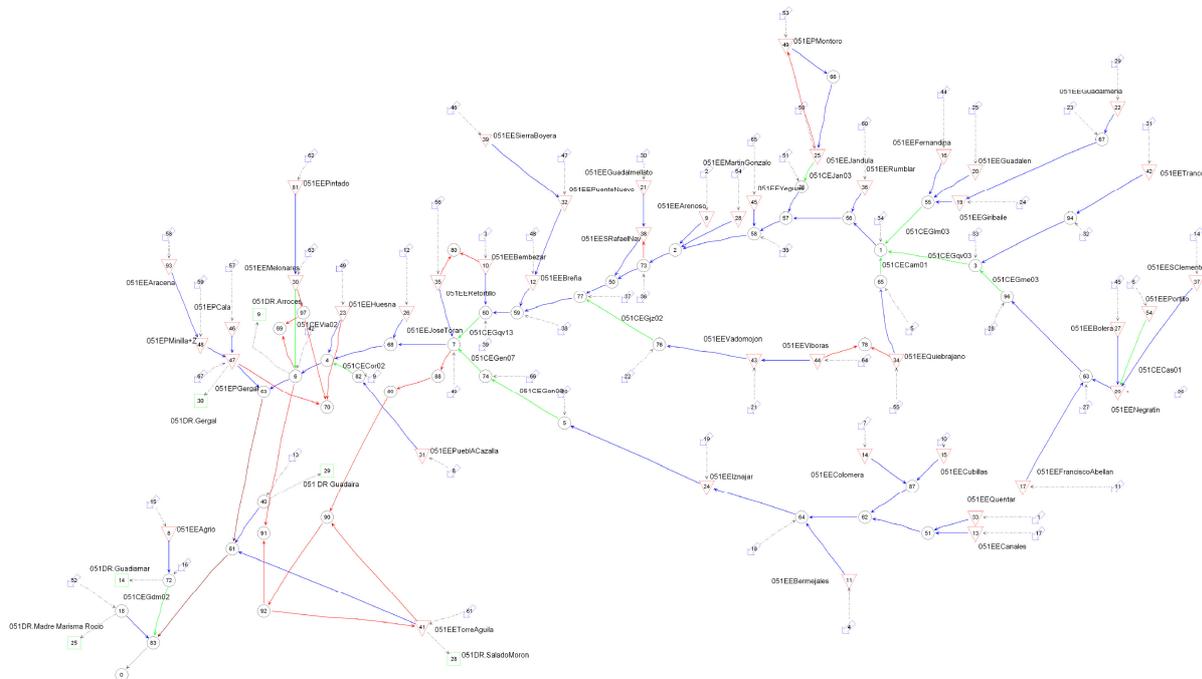


Figura 49. Esquema simplificado de optimización de la demarcación del Guadalquivir. Demanda concentrada.

4.7.3. RESULTADOS

4.7.3.1. PERÍODO DE CONTROL: COMPARACIÓN ENTRE LOS RESULTADOS OBTENIDOS A PARTIR DE DIFERENTES PROYECCIONES Y DE DATOS OBSERVADOS,

En el gráfico adjunto se muestran las desviaciones de las estimaciones de la aportación anual media y el RD, tanto para demanda uniforme como variable, de los diferentes modelos de cambio climático respecto a la estimación obtenida con datos observados, que se toma como referencia (eje de abscisas).

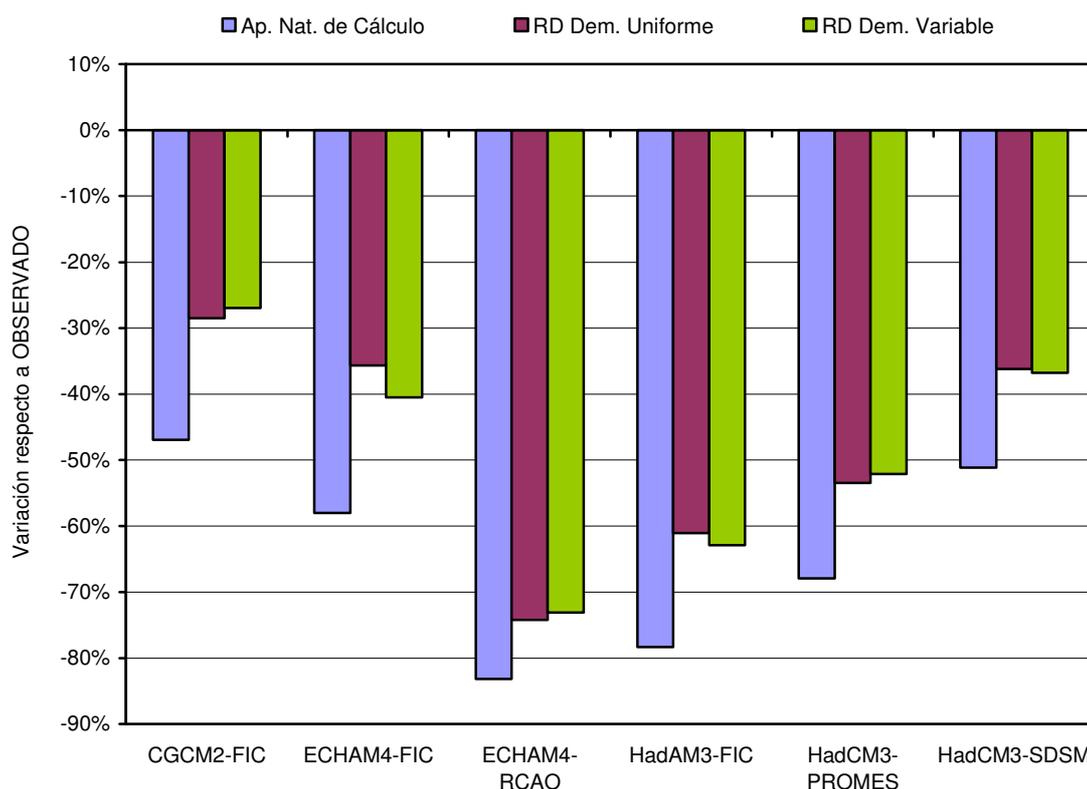


Figura 50. Desviación de las estimaciones de la aportación anual media y el recurso disponible de los diferentes modelos climáticos respecto a los datos observados en la demarcación hidrográfica del Guadalquivir.

Como puede apreciarse, la reducción del RD no es sensible al tipo de demanda. La reducción del valor medio de la aportación anual con respecto a los datos observados oscila entre 47% y 83%; la reducción del RD para demanda uniforme oscila entre 28% y 74%, mientras que para demanda variable lo hace entre 27% y 73%.

Se observa que el RD siempre sufre menor reducción que la aportación natural de cálculo, lo que es debido a la gran capacidad de regulación disponible.

4.7.3.2. EVOLUCIÓN DEL RECURSO DISPONIBLE CON RESPECTO AL PERÍODO DE CONTROL PARA LAS DISTINTAS PROYECCIONES

En la Tabla 35 y en la Tabla 36 se muestra, para cada tipo de demanda, la variación del RD respecto al periodo de control (1961-1990), para cada uno de los modelos y periodos



estudiados: P2 (2011-2040), P3 (2041-2070) y P4 (2071-2100); según el grado de variación del RD, la celda aparece en verde (> 0%), naranja (de -20% a 0%) o rojo (< -20%).

Esc	Periodo	CGCM2-FIC	ECHAM4-FIC	HadAM3-FIC	HadCM3-SDSM	HadCM3-PROMES	ECHAM4-RCAO	Media
A2	2011-2040	-16	-36		-4			-19
	2041-2070	-7	-55		-34			-32
	2071-2100	-37	-62	-26	-52	-41	-56	-46
B2	2011-2040	-13	-48		-26			-29
	2041-2070	-5	-36		-18			-20
	2071-2100	-8	-44	-34	-5	-40	-22	-26

Tabla 35. Variación del recurso disponible (%) para demanda uniforme en cada periodo respecto al período de control en la demarcación hidrográfica del Guadalquivir.

Esc	Periodo	CGCM2-FIC	ECHAM4-FIC	HadAM3-FIC	HadCM3-SDSM	HadCM3-PROMES	ECHAM4-RCAO	Media
A2	2011-2040	-26	-29		-4			-20
	2041-2070	-13	-52		-32			-32
	2071-2100	-41	-60	-23	-51	-41	-55	-45
B2	2011-2040	-19	-42		9			-17
	2041-2070	-15	-33		-18			-22
	2071-2100	-14	-42	-29	-6	-32	-24	-25

Tabla 36. Variación del recurso disponible (%) para demanda variable en cada periodo respecto al período de control en la demarcación hidrográfica del Guadalquivir.

En la Figura 51 se representan los resultados anteriores junto con la evolución de la aportación media anual.

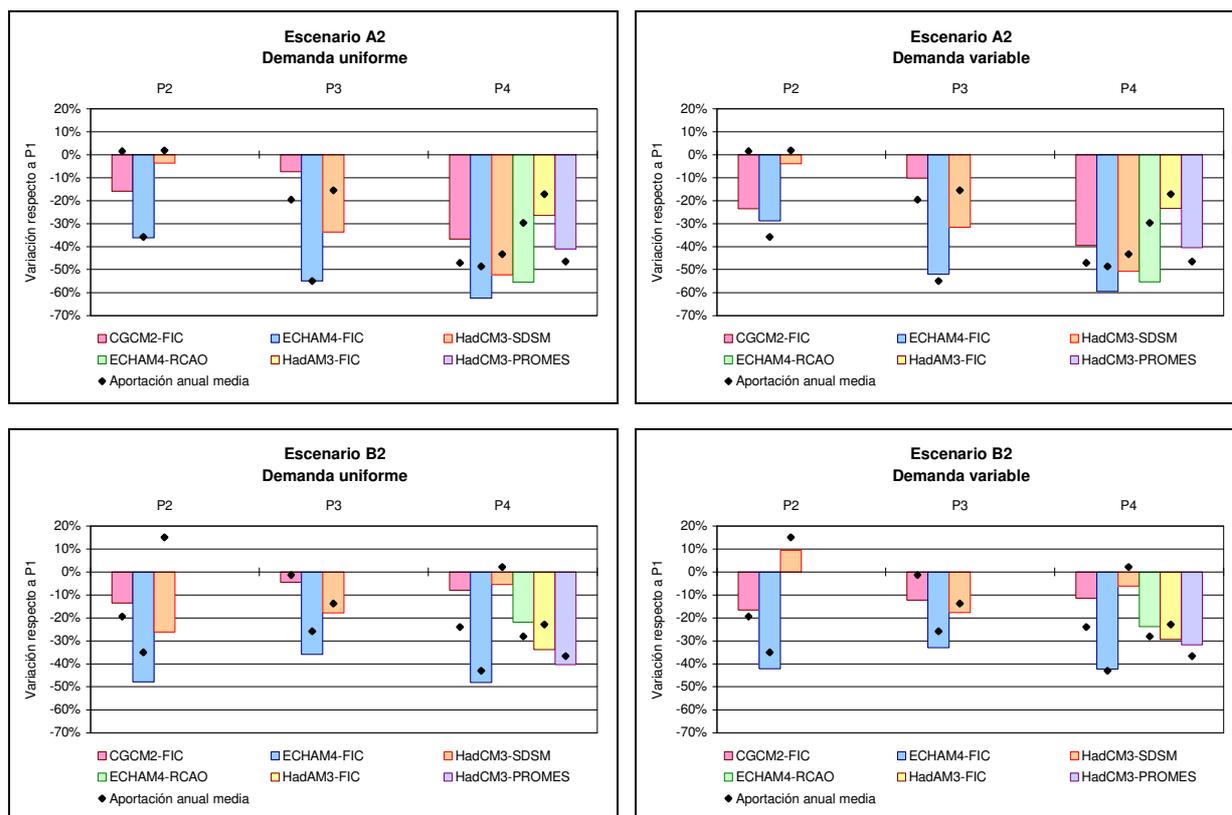


Figura 51. Evolución de la variación del recurso disponible (%) de P2 a P4 respecto al periodo de control (P1) en la demarcación hidrográfica del Guadalquivir,

En general los porcentajes de reducción por cada modelo, escenario y periodo, son muy similares en demanda variable y en demanda uniforme. Es decir, la variación del RD no es sensible al tipo de demanda.

Con independencia del tipo de demanda, parece mayor la reducción en A2 que en B2 en los periodos a medio y largo plazo, mientras que a corto plazo la reducción es mayor en B2 que en A2. Por consiguiente, el efecto de las medidas adoptadas en el escenario B2 sólo se percibiría a medio y largo plazo.

En el escenario A2, para cualquier demanda, hay una tendencia a la reducción del RD creciente y sostenida en los tres periodos en los modelos ECHAM4-FIC y HadCM3-SDSM, pero con una evolución muy diferente entre los periodos. En cambio, con el modelo CGCM2-FIC tanto para demanda uniforme como para variable hay una mejora del RD a medio plazo, si bien a largo plazo vuelve a empeorar.

En el escenario B2 con demanda uniforme en los modelos ECHAM4-FIC, HadCM3-SDSM y CGCM2-FIC hay una tendencia bien a mejorar, o bien a estabilizarse a lo largo de los tres periodos. Con demanda variable, la tendencia que se aprecia es a estabilizarse o a empeorar.

Por otro lado, para los modelos HadCM3-SDSM y CGCM2-FIC se observa un comportamiento anómalo entre el RD y la aportación en algunos periodos (la aportación media anual aumenta y el RD se reduce). En el caso del modelo HadCM3-SDSM, a pesar que examinando los diagramas de cajas de las aportaciones anuales (ANEJO1) se observa que la magnitud de los mínimos anuales no es suficiente para explicar este comportamiento, por lo que es necesario recurrir a un análisis de la variabilidad interanual e intraanual. En cuanto al modelo CGCM2-FIC en el análisis de los diagramas de cajas de las aportaciones anuales (ANEJO1) se refleja



una ligera reducción del mínimo, pero para su completo análisis sería igualmente necesario el estudio de los percentiles, y de la variabilidad interanual e intranual. .

4.7.3.3. EFECTO DE LAS RESTRICCIONES AMBIENTALES

Como se ha indicado en el apartado 3.2.5.2, sólo se ha estudiado el efecto de las restricciones ambientales sobre el RD en el periodo de control,

En la Figura 52 se muestra la reducción del RD en dicho período como consecuencia de tener en cuenta las restricciones ambientales. Se puede observar que su repercusión sobre el RD es insignificante, puesto que la reducción máxima no llega al 5%. En cambio, la reducción asociada al cambio climático en el período 2071-2100, de acuerdo con las predicciones de los modelos oscila entre el 5% y el 62% en función de la proyección y demanda de que se trate.

Como ya se ha señalado en el apartado 3.2.5.2, la repercusión de los caudales mínimos resulta irrelevante en este caso debido al procedimiento de cálculo del RD. Al suponer las demandas concentradas al final de la cuenca y estar los tramos de caudal mínimo distribuidos por toda la cuenca aguas arriba, no existe unaafeción directa.

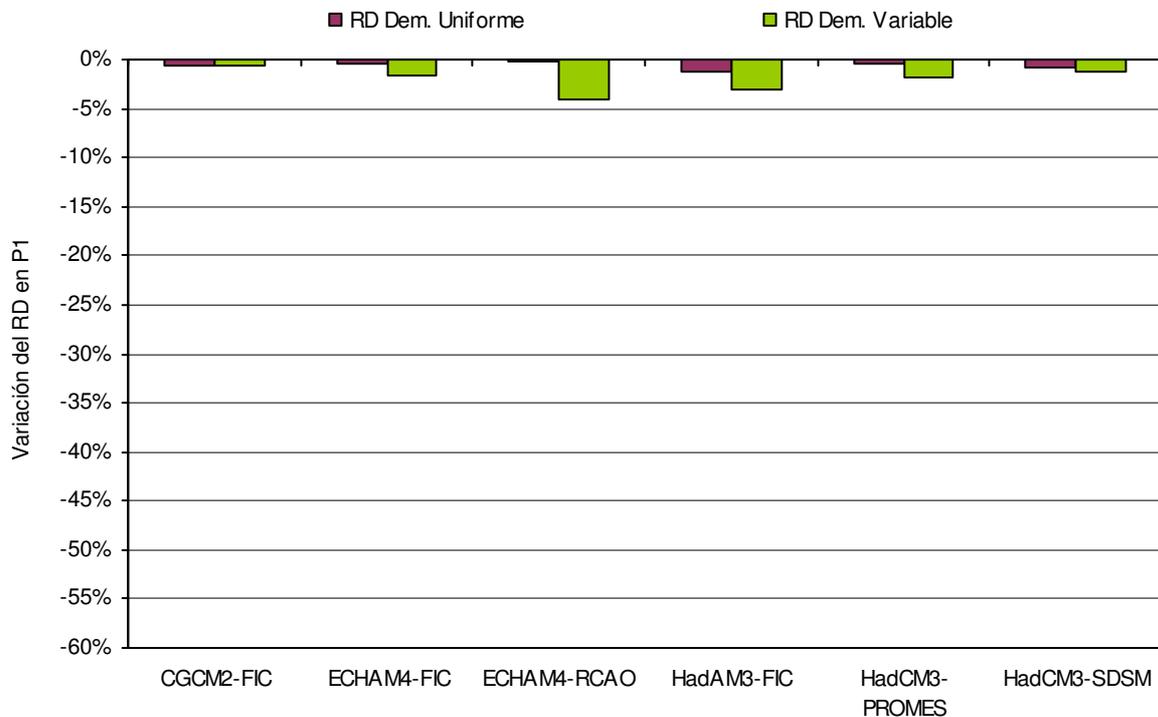


Figura 52. Variación del recurso disponible en el periodo de control debido a restricciones ambientales en la demarcación hidrográfica del Guadalquivir,

4.8. DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DEL SEGURA

4.8.1. ELEMENTOS QUE INTEGRAN EL SISTEMA

4.8.1.1. APORTACIONES

El cálculo de las aportaciones en la demarcación hidrográfica del Segura se ha realizado en 13 puntos, cuya ubicación se representa en la Figura 53. La aportación calculada corresponde a la aportación total en régimen natural de la única cuenca considerada en el modelo de optimización.

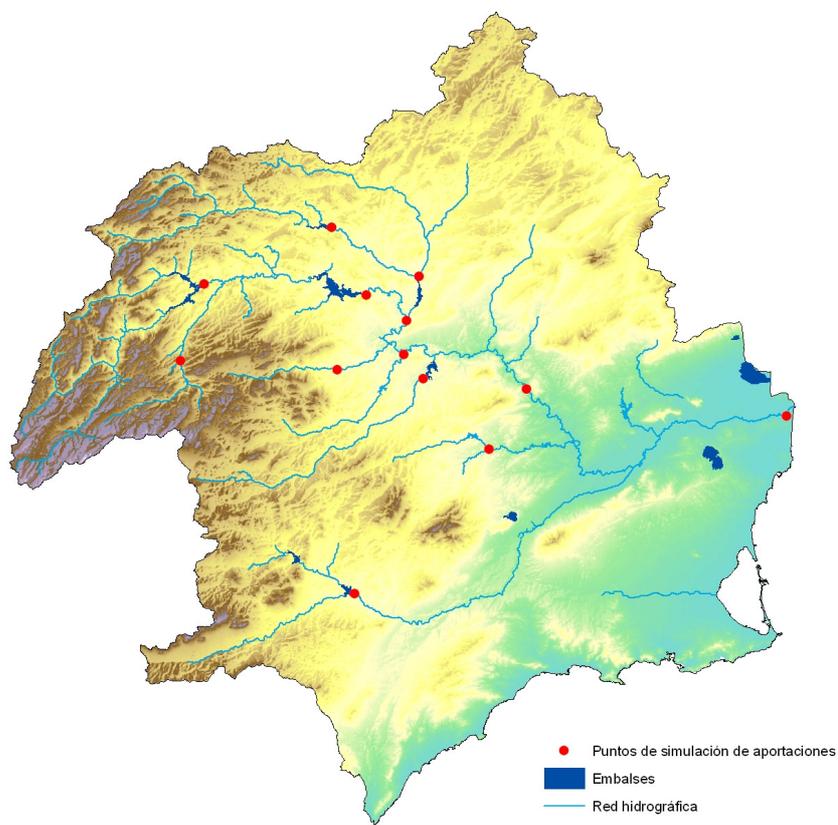


Figura 53. Demarcación hidrográfica del Segura

En la Figura 54 se comparan las series de aportación anual de cálculo, en el periodo de control (1961-1990), obtenidas mediante el modelo SIMPA, correspondientes a los datos climáticos observados y a aquellos calculados mediante los diferentes modelos de cambio climático.

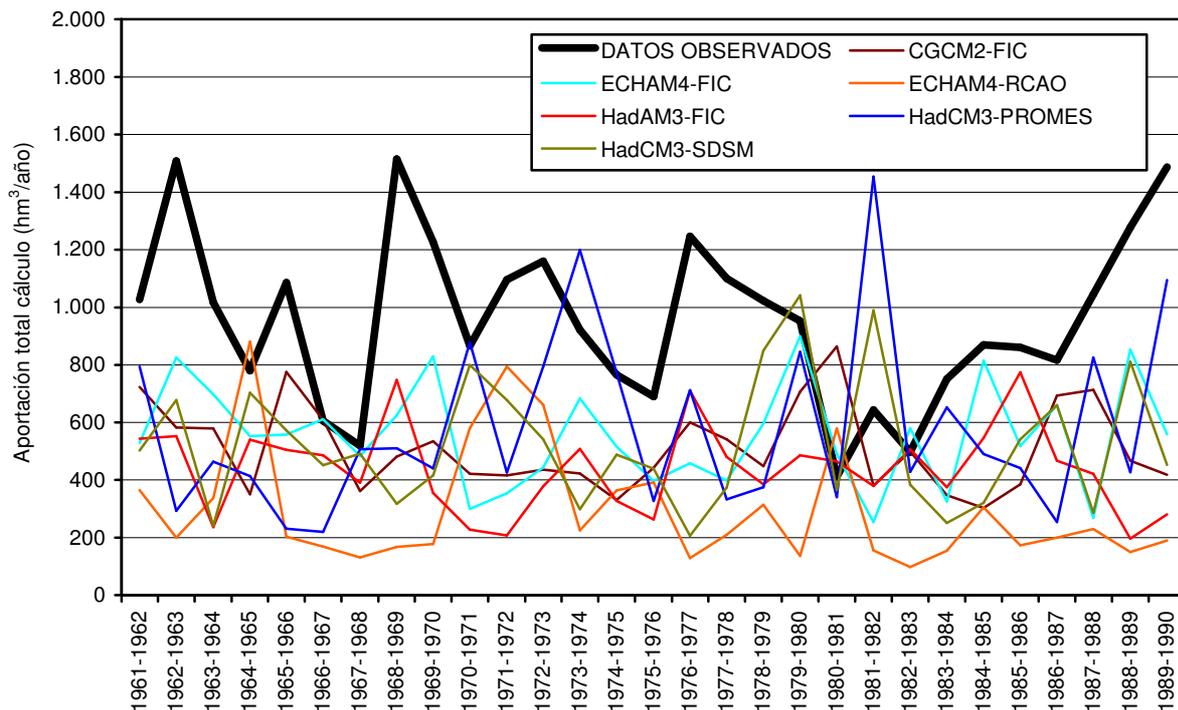


Figura 54. Series de aportación anual en el periodo de control (1961-1990) en la demarcación hidrográfica del Segura

La comparación de estas series refleja una subestimación generalizada de las aportaciones obtenidas mediante los modelos de cambio climático respecto de las calculadas a partir de los datos climáticos observados. Como indicación, cabe reflejar que la aportación media anual a partir de estos datos observados es de 957 hm³/año, mientras que para los modelos de cambio climático ésta varía entre 299 hm³/año, para el ECHAM4-RCAO, y 584 hm³/año, para el HadAM3-FIC.

De la misma manera se observa que ninguna de las series de aportación anual calculadas mediante los diferentes modelos de cambio climático sigue un patrón de distribución temporal similar al obtenido con la serie “observada”. Destaca la serie de aportación anual correspondiente al modelo ECHAM4-RCAO por ser la que más se aleja de los valores de la serie “observada”.

Estas conclusiones reflejan una gran incertidumbre en las series de aportaciones en régimen natural obtenidas mediante los modelos de cambio climático. Por ser estas series el dato de partida para el cálculo del recurso disponible, se deberá tener en cuenta esta incertidumbre en dicho cálculo, como más adelante se recoge.

La secuencia temporal de la aportación anual para cada modelo durante los cuatro períodos analizados se recoge en el Anejo 1. En este mismo Anejo también figuran los diagramas de cajas de las series de aportación anual por periodo.

4.8.1.2. DEMANDAS

Según lo indicado en el apartado 3.2.3, para la obtención del recurso disponible se han agrupado todas las demandas de la demarcación, que pueden verse en la Figura 55, en una única demanda colgada al final de la cuenca, tal como se observa en la Figura 56.

4.8.1.3. CAUDALES MÍNIMOS

En el caso de la demarcación hidrográfica del Segura, no se han considerado tramos con restricciones ambientales puesto que a 1 de mayo de 2011 el borrador del Plan de Cuenca no había sido presentado y sometido a información pública.

4.8.1.4. ELEMENTOS DE REGULACIÓN

En la demarcación hidrográfica del Segura se han tenido en cuenta 10 embalses que suman una capacidad media de 1.031 hm³ y que aparecen reflejados en la Figura 53.

En la Tabla 37 se recogen los valores de volumen máximo mensual considerado en cada embalse (en el caso de Valdeinfierno y Puentes, que se han considerado como un solo embalse, se recoge la suma de ambos). Tan sólo en dos embalses se considera un volumen mínimo no nulo, en La Pedrera (40 hm³), por ser relevante frente a su capacidad total, y en El Hondo (10 hm³), establecido por motivos ambientales.

EMBALSE	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP
Alfonso XIII	11	11	21	21	21	21	21	21	21	21	21	11
Rambla de Algeciras	37	37	47	47	47	47	47	47	47	47	47	37
Camarillas	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35
El Cenajo	390	390	415	415	415	415	415	415	415	415	415	390
Crevillente	11	11	12	12	12	12	12	12	12	12	12	11
Fuensanta	169	169	199	199	199	199	199	199	199	199	199	169
El Hondo	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14
La Pedrera	240	240	240	240	240	240	240	240	240	240	240	240
Talave	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33
Valdeinfierno y Puentes	25	25	37	37	37	37	37	37	37	37	37	25
TOTAL MENSUAL	965	965	1.053	1.053	1.053	1.053	1.053	1.053	1.053	1.053	1.053	965

Tabla 37. Embalses de la demarcación hidrográfica del Segura. Distribución del volumen máximo mensual (hm³/mes).

4.8.1.5. CONDUCCIONES

En la Tabla 38 se recogen las conducciones consideradas en el esquema de optimización de la demarcación del Segura junto al valor de su capacidad.

Nombre conducción	Qmax (hm ³ /mes)
Túnel Tálave-Cenajo	103
Canal Principal Margen Izquierda	77
Canal de Crevillente hasta impulsión de Torrealta	41
Canal de Crevillente. Torrealta-E. Crevillente	28
Canal E. Crevillente-Regadíos de Levante Margen Izquierda	26



CEDEX

Nombre conducción	Qmax (hm ³ /mes)
C.M.I. Partidor-Sifón de Orihuela	77
Canal de Alimentación del Sifón	10
C.M.I. Sifón-La Pedrera	77
Canal La Pedrera-Torrealta	1,3
Canal del Campo de Cartagena	49
Impulsión Fuente Álamo	12
Canal Principal Margen Derecha	26
Impulsión de Alhama	21
Retorno E. Rambla de Algeciras	21
Impulsión Yechar	1,9
C.P.M.D. Tramo Algeciras-Lorca	26
C.P.M.D. Tramo Lorca-Almería	18
Canal Segura-El Hondo	18
Canal El Hondo- Riegos de Levante Margen Izquierda	18

Tabla 38. Capacidad máxima de las conducciones consideradas en la demarcación del Segura.

4.8.2. ESQUEMA DE CÁLCULO

La Figura 55 muestra el esquema completo de la demarcación hidrográfica del Segura, donde se observan todas las demandas distribuidas.

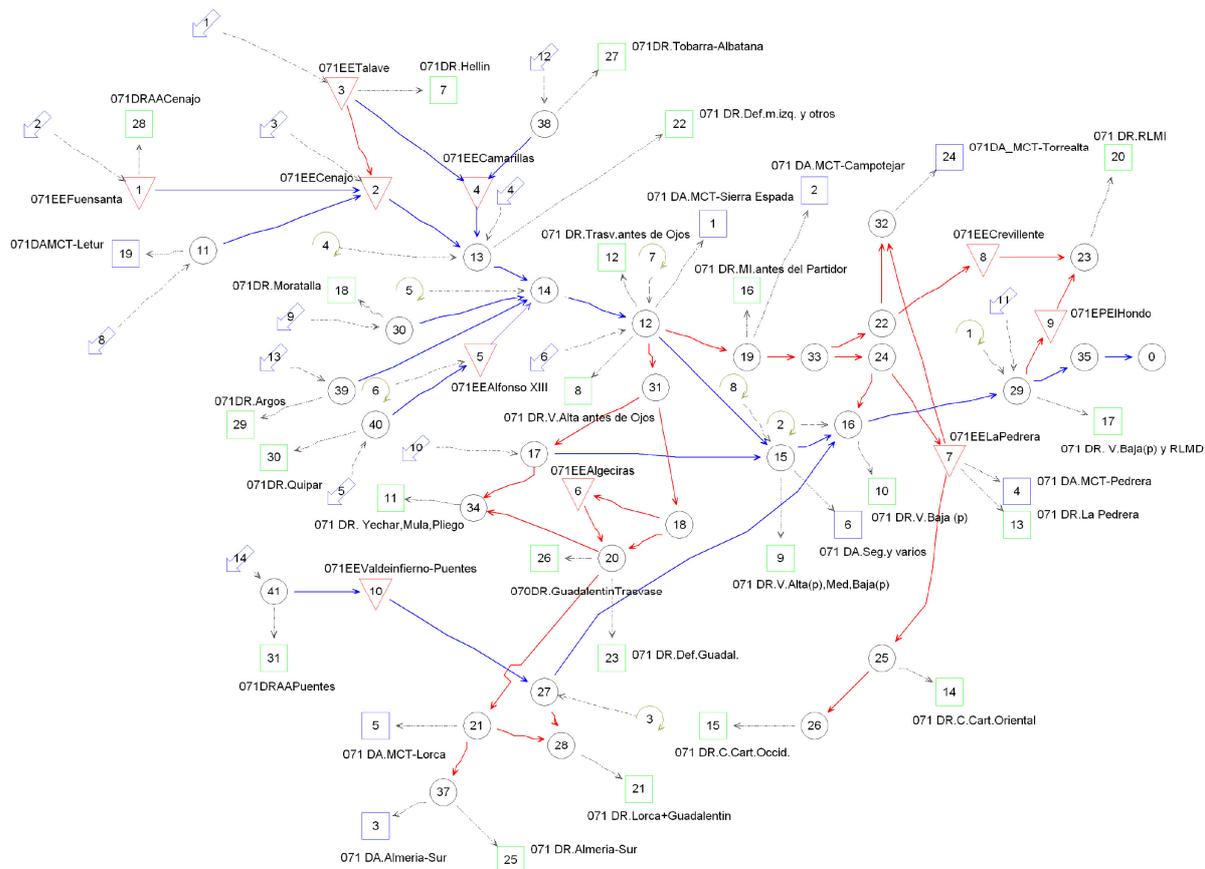


Figura 55. Esquema completo de optimización de la demarcación del Segura. Demanda distribuida

Tal como se ha mencionado en el apartado 3.2.3 para evaluar el recurso disponible, se ha simplificado el esquema de optimización agrupando el total de las demandas en una sola demanda situada al final de la cuenca, como se recoge en la Figura 56.

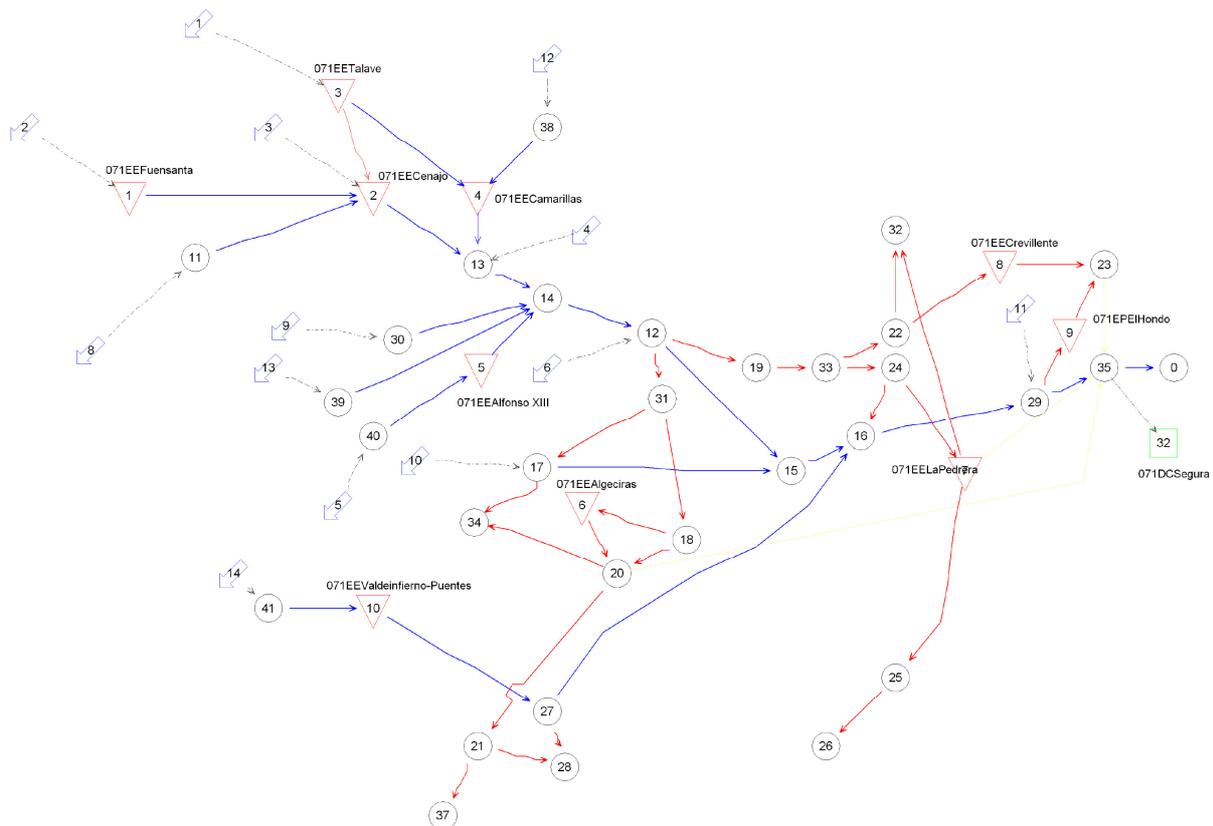


Figura 56. Esquema simplificado de optimización de la demarcación del Segura. Demanda concentrada

En la Figura 53 se puede observar que la demarcación del Segura cuenta con una serie de embalses situados fuera de la red hidrográfica considerada (Crevillente, El Hondo, La Pedrera, Algeciras) desde los que se abastecen diversas demandas. En el esquema simplificado (Figura 56) estas demandas desaparecen, agrupándose, junto con las restantes, en una única demanda colgada al final de la red hidrográfica considerada. De este modo, para tener en cuenta la capacidad de regulación de estos embalses en la simulación del esquema simplificado, ha sido preciso introducir en el mismo una serie de conducciones ficticias de capacidad ilimitada que conectan dichos embalses con el nudo de la red hidrográfica del que parte la toma para abastecer la demanda concentrada.

4.8.3. RESULTADOS

4.8.3.1. PERÍODO DE CONTROL: COMPARACIÓN ENTRE LOS RESULTADOS OBTENIDOS A PARTIR DE DIFERENTES PROYECCIONES Y DE DATOS OBSERVADOS.

En la Figura 57 se muestran las desviaciones de las estimaciones de la aportación anual media y el recurso disponible (RD), tanto para demanda uniforme como variable, de los diferentes modelos de cambio climático respecto a las estimaciones obtenidas con datos observados (referencia).

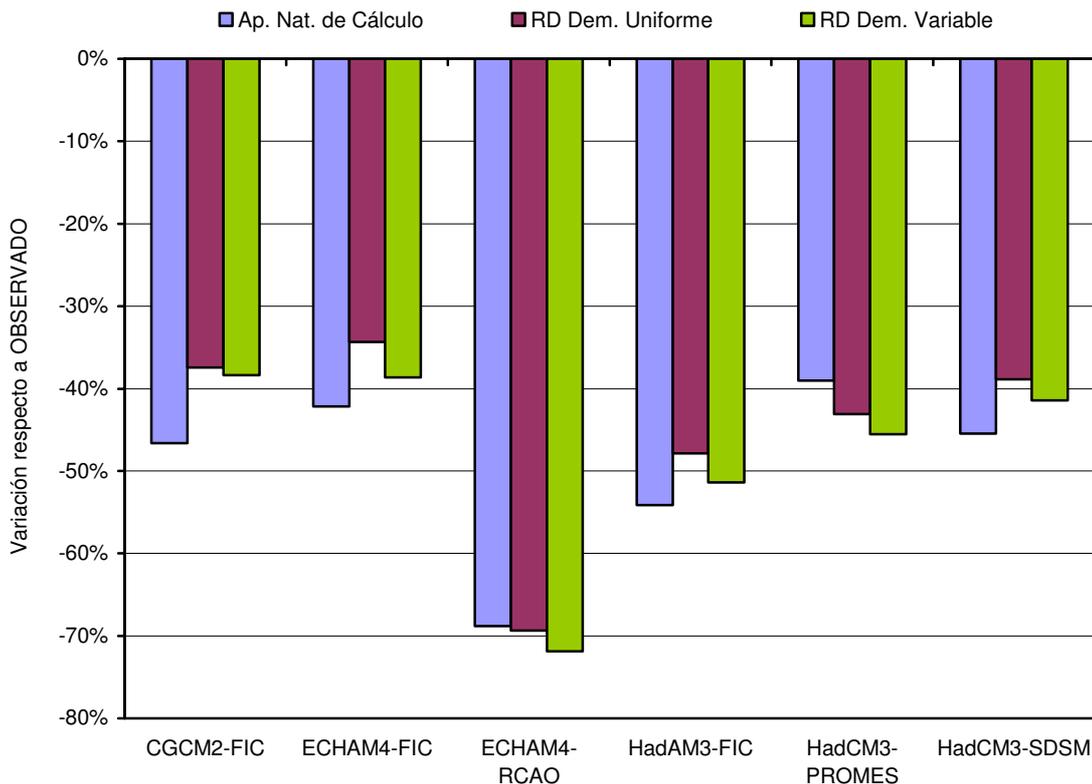


Figura 57. Desviación de las estimaciones de la aportación anual media y el recurso disponible de los diferentes modelos climáticos respecto a los datos observados en la demarcación hidrográfica del Segura

En la aportación media anual estimada a partir de los modelos de cambio climático, se aprecia una disminución de entre el 39% y el 54% respecto a la aportación media “observada”. Destaca el modelo ECHAM4-RCAO, en el que esta disminución alcanza un 69%, marcando una diferencia apreciable respecto al resto de los modelos.

Se observa que estas desviaciones en la estimación del recurso en régimen natural se trasladan, prácticamente en la misma proporción, a la estimación del RD, tanto para demanda uniforme como para demanda variable. A su vez, entre ambas demandas no hay una diferencia notable en la variación del RD estimado.

En algunos casos se observa que la reducción del RD es ligeramente superior a la reducción de la aportación anual media, en especial se aprecia en el modelo HadCM3-PROMES. Este efecto puede ser explicado por el hecho de que el mínimo de la serie de aportaciones anuales estimada a partir de los datos del modelo climático es notablemente inferior al mínimo de la serie de aportaciones anuales “observadas”, lo que puede hacer descender el RD si tal valor mínimo resulta limitante para él. De igual modo, la existencia de valores extremos (outliers) en la serie de aportaciones correspondiente a HadCM3-PROMES hace que su media quede de algún modo sobreestimada al compararla con la media de las aportaciones, sobreestimación que no se traslada al RD puesto que su estimación se ve limitada por valores inferiores de la serie de aportaciones.



4.8.3.2. EVOLUCIÓN DEL RECURSO DISPONIBLE CON RESPECTO AL PERÍODO DE CONTROL PARA LAS DISTINTAS PROYECCIONES

En la Tabla 39 y en la Tabla 40 se muestra, para cada tipo de demanda, la variación del RD respecto al periodo de control (1961-1990), para cada uno de los modelos y periodos estudiados: P2 (2011-2040), P3 (2041-2070) y P4 (2071-2100). Según el grado de variación del RD, la celda aparece en verde (> 0%), naranja (de -20% a 0%) o rojo (< -20%).

Esc	Periodo	CGCM2-FIC	ECHAM4-FIC	HadAM3-FIC	HadCM3-SDSM	HadCM3-PROMES	ECHAM4-RCAO	Media
A2	2011-2040	-12	-29		-5			-15
	2041-2070	-11	-44		-26			-27
	2071-2100	-25	-54	-19	-45	-47	-42	-39
B2	2011-2040	-28	-31		-30			-30
	2041-2070	-12	-32		-17			-20
	2071-2100	-14	-38	-26	-11	-20	-24	-22

Tabla 39. Variación del recurso disponible (%) para demanda uniforme en cada periodo respecto al período de control en la demarcación hidrográfica del Segura.

Esc	Periodo	CGCM2-FIC	ECHAM4-FIC	HadAM3-FIC	HadCM3-SDSM	HadCM3-PROMES	ECHAM4-RCAO	Media
A2	2011-2040	-15	-27		-3			-15
	2041-2070	-14	-45		-23			-27
	2071-2100	-28	-54	-19	-44	-50	-41	-39
B2	2011-2040	-29	-29		-8			-22
	2041-2070	-15	-33		-18			-22
	2071-2100	-14	-37	-27	-9	-19	-24	-22

Tabla 40. Variación del recurso disponible (%) para demanda variable en cada periodo respecto al período de control en la demarcación hidrográfica del Segura.

En la figura siguiente se representan los resultados anteriores junto con la evolución de la aportación media anual.

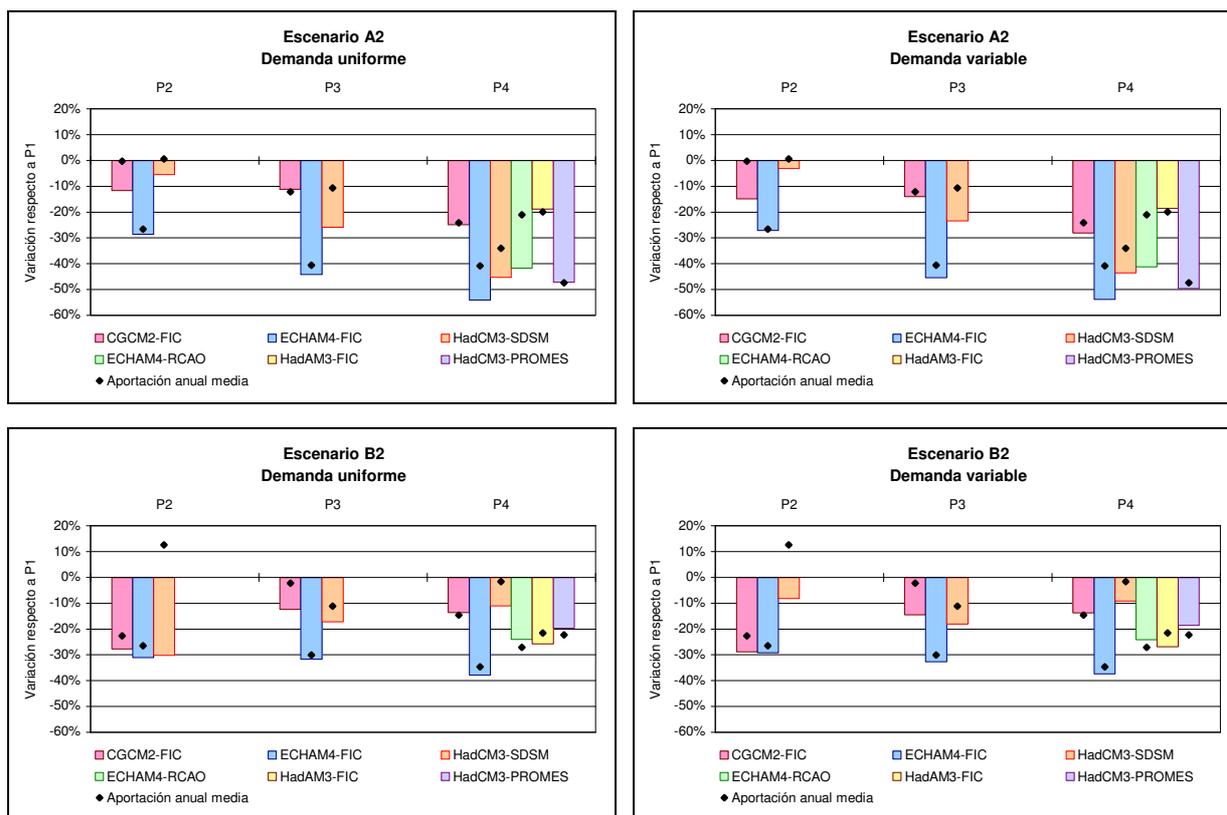


Figura 58. Evolución de la variación del recurso disponible (%) de P2 a P4 respecto al periodo de control (P1) en la demarcación hidrográfica del Segura

La evolución del RD dentro de cada escenario climático (A2/B2) no resulta sensible al tipo de demanda analizada para ninguno de los modelos.

En el escenario A2 se observa una tendencia decreciente del RD desde P2 a P4, tanto para demanda uniforme como variable en todos los modelos, pero cada uno de ellos presenta una evolución diferente a lo largo de los tres periodos de estudio. Según el modelo CGCM2-FIC, el RD entre P2 y P3 se mantiene estable, sufriendo una reducción importante en el siguiente intervalo (P3-P4). Sin embargo, en los modelos ECHAM4-FIC y HadCM3-SDSM el RD presenta una disminución constante desde P2 a P4.

En el escenario B2 se aprecia disparidad de tendencias entre los distintos modelos desde P2 a P4. Para dos de los modelos climáticos (CGCM2-FIC y HadCM3-SDSM), el RD presenta un aumento a medio y largo plazo respectivamente, sin alcanzar en ningún momento los valores del periodo de control. Por el contrario, para el modelo ECHAM4-FIC el RD se reduce de manera gradual desde P2 a P4.

Comparando ambos escenarios, tanto para demanda uniforme como variable, se observa que a largo plazo (P3 y, especialmente, P4) el RD disminuye más en el escenario A2 que en el B2, aunque en el corto plazo (P2) es en el escenario B2 donde se aprecian mayores reducciones. Como excepción, el modelo HadAM3-FIC arroja, contra todo pronóstico, mayores reducciones en el recurso disponible en el escenario B2 que en el A2.

Por tanto, puede afirmarse que hay acuerdo entre los modelos en que a medio y largo plazo es más favorable el escenario B2 que el A2, aunque a corto plazo es más desfavorable, con independencia del tipo de demanda. Es decir, que a medio y largo plazo se observa el efecto sobre la disponibilidad de recurso de las medidas adoptadas en el escenario B2.



En los modelos CGCM2-FIC y HadCM3-SDSM, la relación entre la aportación y el RD resulta en algunos casos aparentemente anómala, puesto que a una aportación anual media igual o incluso mayor que la de referencia, le corresponde un RD inferior al de partida.

Una explicación preliminar de este comportamiento puede obtenerse examinando los diagramas de cajas de las aportaciones anuales (ANEJO1). En ellos, se aprecia que las aportaciones mínimas en estos períodos son menores que las correspondientes al periodo de control, lo que podría ser la causa del menor RD si consideramos que los valores mínimos de la aportación son limitantes para el RD. Además, las series presentan valores extremos (“outliers”) que no se registran en el periodo de control, lo que hace aumentar la media de la aportación anual, aumento que no se traslada al RD puesto que su estimación queda limitada por los valores inferiores de la serie de aportaciones.

4.9. DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DEL JÚCAR

4.9.1. ELEMENTOS QUE INTEGRAN EL SISTEMA

4.9.1.1. APORTACIONES

En la Figura 59 se reflejan los 24 puntos considerados para el cálculo de las aportaciones de la demarcación del Júcar. La ubicación del punto de aportación en el río Cenia está condicionada a la ubicación de un futuro tramo ecológico. La aportación evaluada representa entre el 98,6% y el 99,4% de la aportación total de los cauces considerados en el modelo.

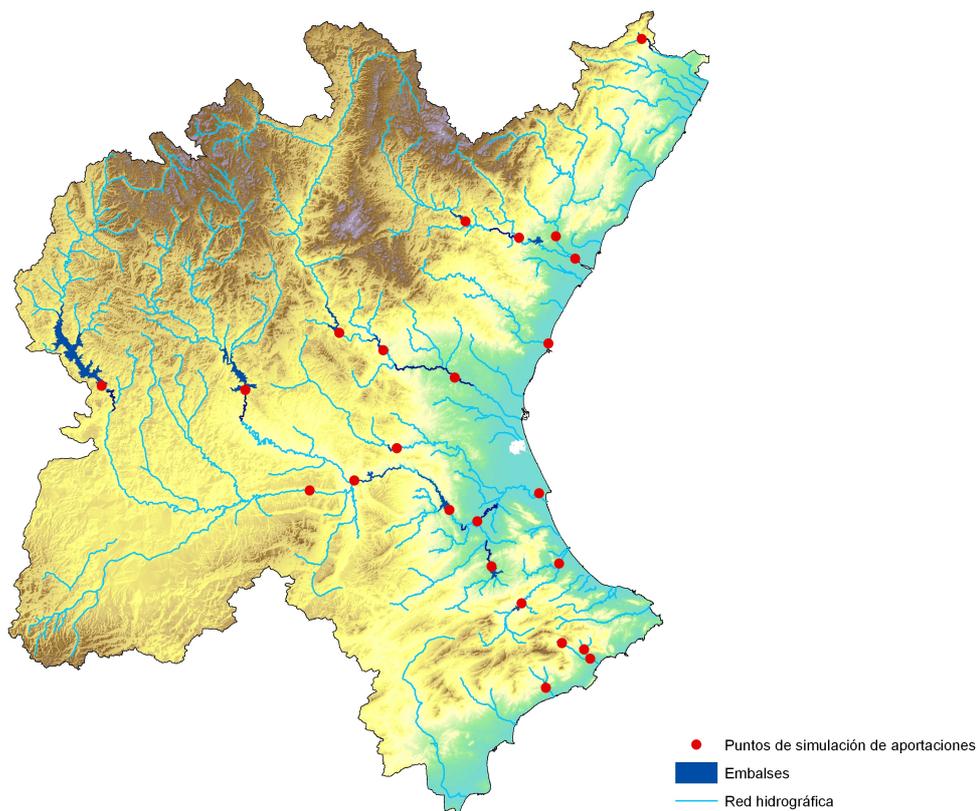


Figura 59. Demarcación hidrográfica del Júcar

En la Figura 60 se muestran las series anuales de aportaciones de cálculo para el periodo de control, obtenidas con el modelo SIMPA, a partir de los datos climáticos derivados de los diferentes modelos de cambio climático y a partir de datos climáticos observados. Cada serie se obtiene a partir de la suma de las series de aportaciones anuales de los puntos finales de los cauces considerados en el modelo (Cenia, Mijares, Palancia, Turia, Júcar, Serpis, Guadalest y Amadorio). Los sistemas Marina Alta y Vinalopó-Alacantí no se han incluido porque sus recursos propios no se consideran relevantes.

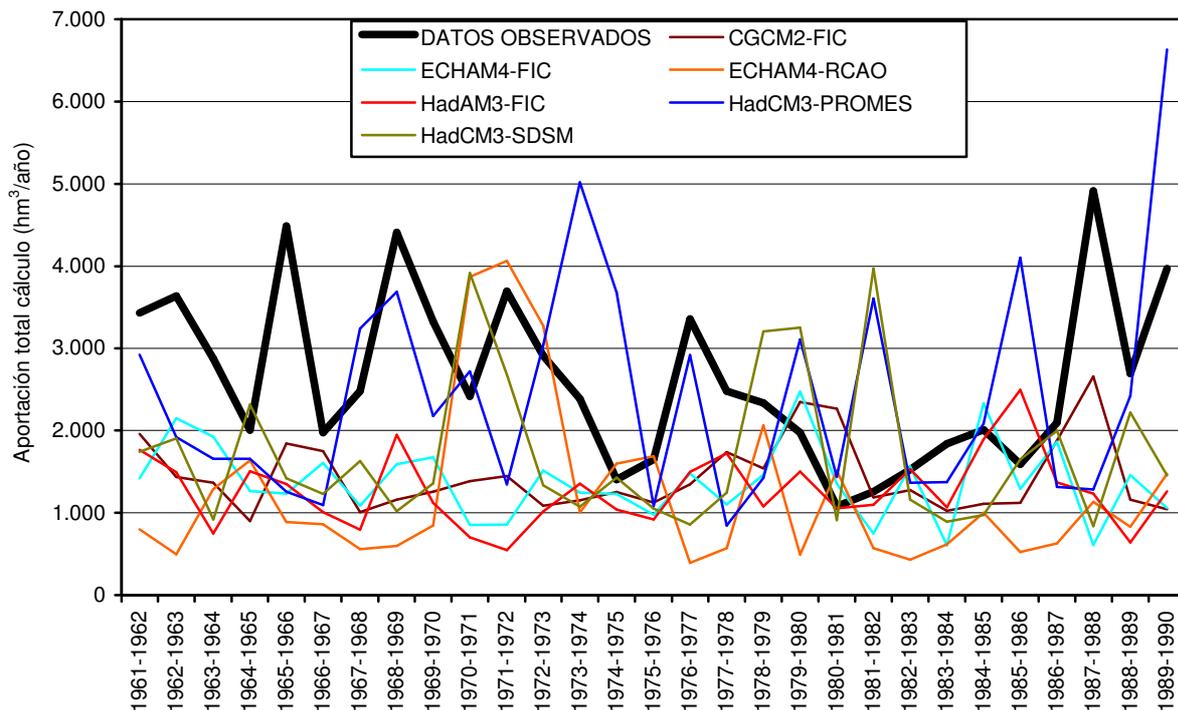


Figura 60. Series de aportación anual en el periodo de control (1961-1990) en la demarcación hidrográfica del Júcar.

Exceptuando el modelo HadCM3-PROMES, que tiene unos niveles de aportación similares a la serie “observada” y en algunos casos superiores, el resto de modelos estudiados muestran valores considerablemente inferiores a los valores de referencia (entre un 35% y un 50%). Por ejemplo, la aportación anual media de la serie “observada” es 2.628 hm^3 , mientras que la de los cinco modelos climáticos (exceptuando el HadCM3-PROMES) oscila entre 1.231 hm^3 y 1.712 hm^3 . Además de la magnitud de las estimaciones, se puede observar que existe una gran variabilidad entre las series. Hay que tener en cuenta, por tanto, el grado de desviación respecto los valores de referencia, así como la incertidumbre de las estimaciones de los datos de partida para el cálculo del recurso disponible.

En el ANEJO 1 se recoge la evolución temporal de las aportaciones anuales a lo largo de los cuatro periodos de estudio para cada uno de los modelos, y los diagramas de cajas de las aportaciones anuales de cada una de las proyecciones estudiadas.

4.9.1.2. DEMANDAS

El recurso disponible se ha calculado de forma independiente para cada cuenca, colocando en el punto más bajo una demanda que representa al conjunto de todas las demandas de la subcuenca. El RD total de la demarcación es la suma de los RD de todas las subcuencas evaluadas por el modelo. En el sistema de la Marina Baja, a pesar de que existen dos ríos principales que no confluyen, el Algar y el Amadorio, el recurso disponible se ha calculado conjuntamente porque los dos ríos están conectados artificialmente. En la Figura 62 se muestra la configuración del esquema que se ha utilizado para el cálculo del RD.

4.9.1.3. CAUDALES MÍNIMOS

En la demarcación del Júcar no se han considerado caudales mínimos porque a fecha de 1 de mayo de 2011 todavía no había salido a información pública el Plan de Cuenca.

4.9.1.4. ELEMENTOS DE REGULACIÓN

En la demarcación del Júcar se han considerado 15 embalses que representan una capacidad media de 2.200 hm³ y se muestran en la Figura 59. Los embalses que tienen actualmente una función exclusivamente hidroeléctrica son Cortes II y el Naranjero.

En la Tabla 41 se indica la distribución anual del volumen máximo para cada uno de los embalses (o grupo de embalses). En Alarcón y Contreras se ha considerado un volumen mínimo por razones ambientales, de 30 hm³ en el primero y 40 hm³ en el segundo. Y en Tous se ha considerado un volumen mínimo de 8 hm³ por razones funcionales del propio embalse (*Fuente: Confederación Hidrográfica del Júcar*).

EMBALSE	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP
Alarcón	1.056	1.056	1.056	1.056	1.056	1.056	1.056	1.056	1.056	1.056	1.056	1.056
Amadorio	8	10	13	14	14	14	14	14	14	14	14	11
Arenós	52	52	52	65	65	65	65	65	65	65	65	52
Bellús	18	18	18	29	29	29	29	29	29	29	29	18
Benagéber	206	206	212	212	217	217	221	221	221	221	221	206
Beniarrés	14	15	20	22	22	23	24	24	25	26	27	22
Contreras	440	440	440	440	440	440	440	440	440	440	440	440
Cortes II y El Naranjero	139	139	139	139	139	139	139	139	139	139	139	139
Forata	16	16	25	27	28	28	28	27	27	31	31	20
Guadalest	9	10	11	11	11	11	12	12	12	12	12	10
Loriguilla	22	22	22	30	30	22	22	22	22	22	22	22
Sichar	35	35	35	45	45	45	45	45	45	45	45	35
Tous	72	72	126	195	170	216	240	217	194	171	148	126
Ulldecona	9	9	9	10	10	10	10	10	10	10	10	9
TOTAL MENSUAL	2.096	2.101	2.179	2.294	2.276	2.316	2.346	2.321	2.299	2.281	2.259	2.167

Tabla 41. Embalses de la demarcación hidrográfica del Júcar. Distribución del volumen máximo mensual (hm³/mes).

4.9.1.5. CONDUCCIONES

En la siguiente tabla se indican las capacidades máximas de las conducciones consideradas en la demarcación del Júcar.

Nombre conducción	Qmax (hm ³ /mes)
ATS Alarcón-Picazo	95,8
ATS Picazo-Albacete	85,5
Canal Júcar-Túria	82,94
Conducción Júcar-Vinalopó	9,1
Impulsión Algar	2,5
Conducción General de Guadalest	3,12

Nombre conducción	Qmax (hm ³ /mes)
Canal Bajo del Algar	1,2
Conducción de Amadorio	1,8
Canal tramo común de Mijares	62

Tabla 42. Capacidad máxima de las conducciones consideradas en la demarcación del Júcar

4.9.2. ESQUEMA DE CÁLCULO

En la Figura 61 se muestra el esquema completo de la demarcación del Júcar donde aparecen todas las demandas distribuidas.

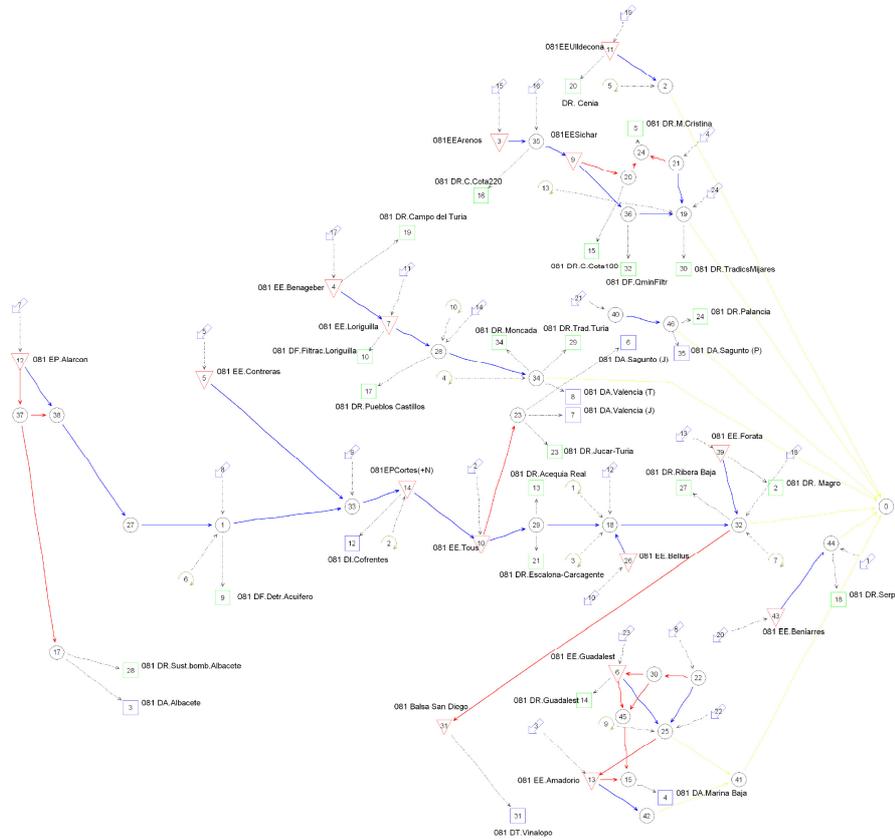


Figura 61. Esquema completo de optimización de la demarcación del Júcar. Demanda distribuida

Para el cálculo del recurso disponible, según se indica en el apartado 3.2.3 se ha sustituido el conjunto de demandas por una única demanda al final de cada cauce, como se muestra en la Figura 62.

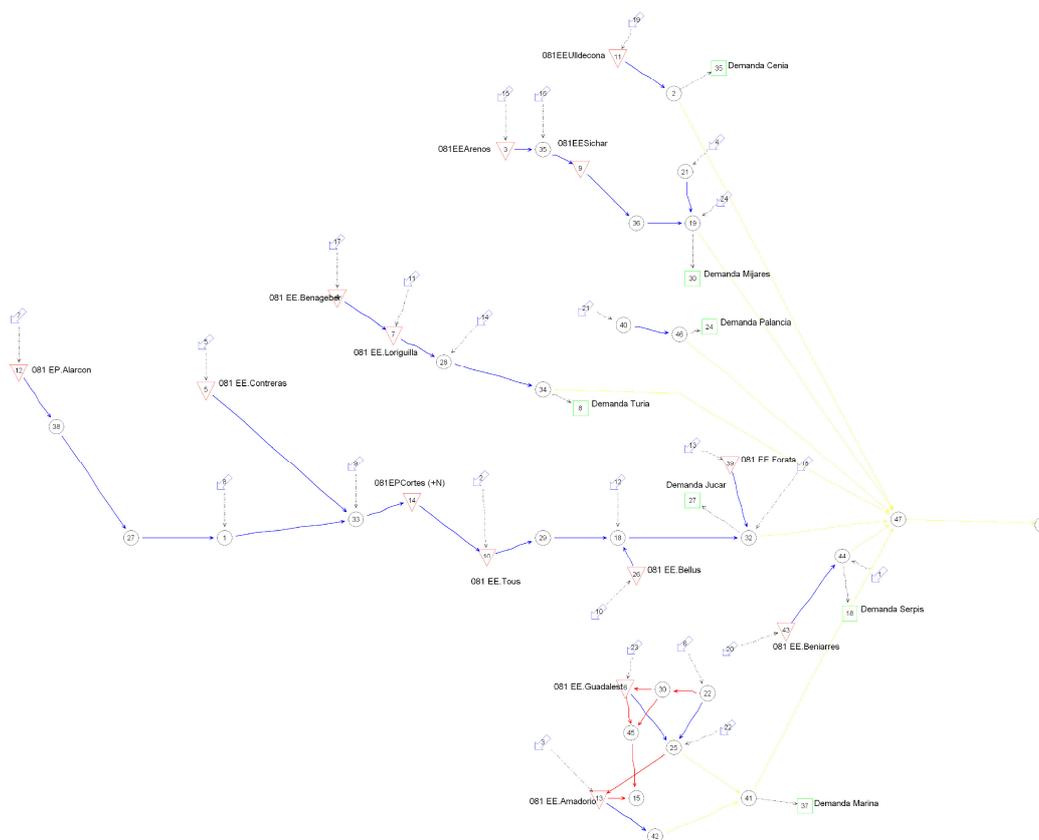


Figura 62. Esquema simplificado de optimización de la demarcación del Júcar. Demanda concentrada

4.9.3. RESULTADOS

4.9.3.1. PERIODO DE CONTROL: COMPARACIÓN ENTRE LOS RESULTADOS OBTENIDOS A PARTIR DE DIFERENTES PROYECCIONES Y DE DATOS OBSERVADOS

En la Figura 63 se muestran las desviaciones de las estimaciones de la aportación anual media y el RD, tanto para demanda uniforme como variable, de los diferentes modelos de cambio climático respecto a las estimaciones obtenidas con datos observados (referencia).

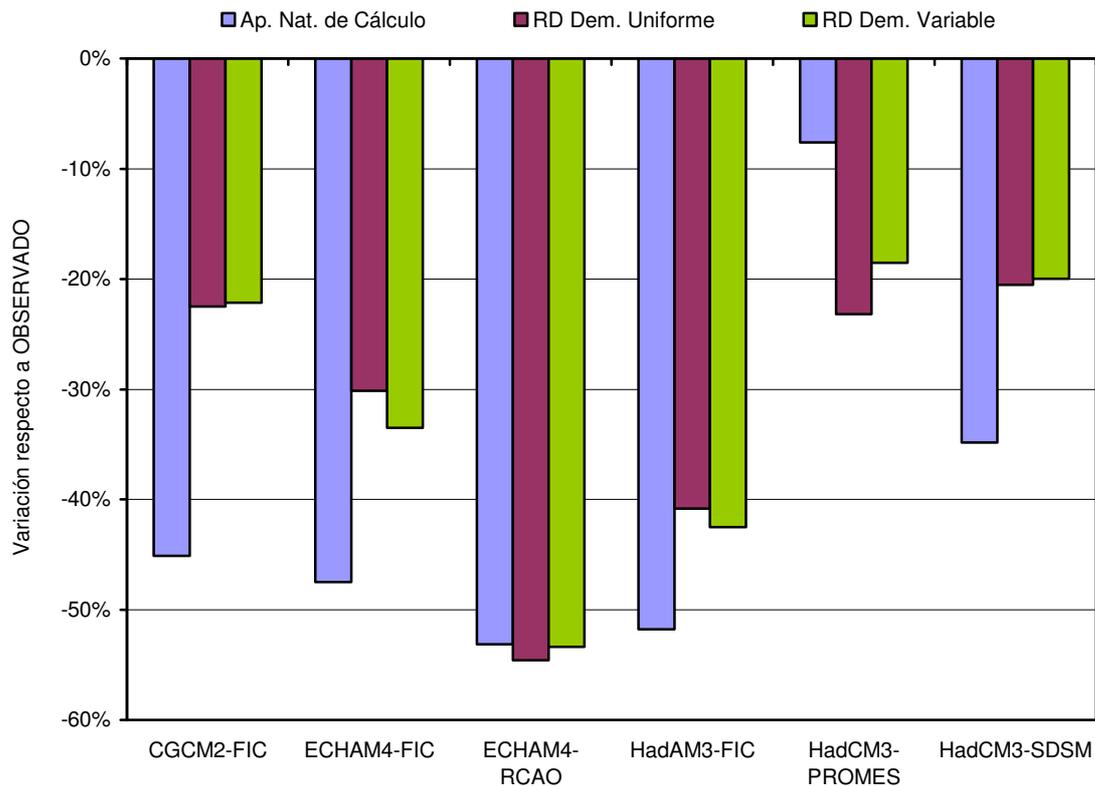


Figura 63. Desviación de las estimaciones de la aportación anual media y el recurso disponible de los diferentes modelos climáticos respecto a los datos observados en la demarcación hidrográfica del Júcar.

La variación del recurso disponible es prácticamente insensible a la modulación de la demanda y se observa una relación positiva con la variación de las aportaciones. Las estimaciones de la aportación anual media y el RD a partir de los diferentes modelos climáticos difieren bastante de las obtenidas con datos observados: son siempre inferiores, mínimo 20%, llegando a unas reducciones superiores al 50%, tanto en la aportación anual media como del RD (modelo ECHAM4-RCAO). Sin embargo, el modelo HadCM3-PROMES se presenta como caso excepcional, ya que la reducción del RD es muy superior a la sufrida por la aportación anual media. Esto se produce porque existen valores extremos en la serie de aportaciones del modelo que desplazan la media (ver Figura 60 y diagrama de cajas del ANEJO1).

4.9.3.2. EVOLUCIÓN DEL RECURSO DISPONIBLE CON RESPECTO AL PERÍODO DE CONTROL PARA LAS DISTINTAS PROYECCIONES

En la Tabla 43 y en la Tabla 44 se muestra, para cada tipo de demanda, la variación del RD respecto al periodo de control (1961-1990), para cada uno de los modelos y periodos estudiados: P2 (2011-2040), P3 (2041-2070) y P4 (2071-2100). Según el grado de variación del RD, la celda aparece en verde (> 0%), naranja (de -20% a 0%) o rojo (< -20%).

Escenario	Periodo	CGCM2-FIC	ECHAM4-FIC	HadAM3-FIC	HadCM3-SDSM	HadCM3-PROMES	ECHAM4-RCAO	Media
A2	2011-2040	-3	-16		-5			-8
	2041-2070	-11	-32		-20			-21
	2071-2100	-25	-33	-2	-48	-42	-48	-33
B2	2011-2040	-21	-26		-29			-25
	2041-2070	-12	-24		-15			-17
	2071-2100	-12	-26	-16	-12	-29	-18	-19

Tabla 43. Variación del recurso disponible (%) para demanda uniforme en cada periodo respecto al período de control en la demarcación hidrográfica del Júcar.

Escenario	Periodo	CGCM2-FIC	ECHAM4-FIC	HadAM3-FIC	HadCM3-SDSM	HadCM3-PROMES	ECHAM4-RCAO	Media
A2	2011-2040	-6	-13		-4			-8
	2041-2070	-10	-30		-20			-20
	2071-2100	-26	-33	-3	-48	-46	-50	-34
B2	2011-2040	-22	-25		-10			-19
	2041-2070	-12	-22		-17			-17
	2071-2100	-12	-25	-19	-12	-34	-21	-21

Tabla 44. Variación del recurso disponible (%) para demanda variable en cada periodo respecto al período de control en la demarcación hidrográfica del Júcar.

En la Figura 64 se pueden ver estos mismos resultados en formato gráfico, junto con la variación de la aportación anual media.

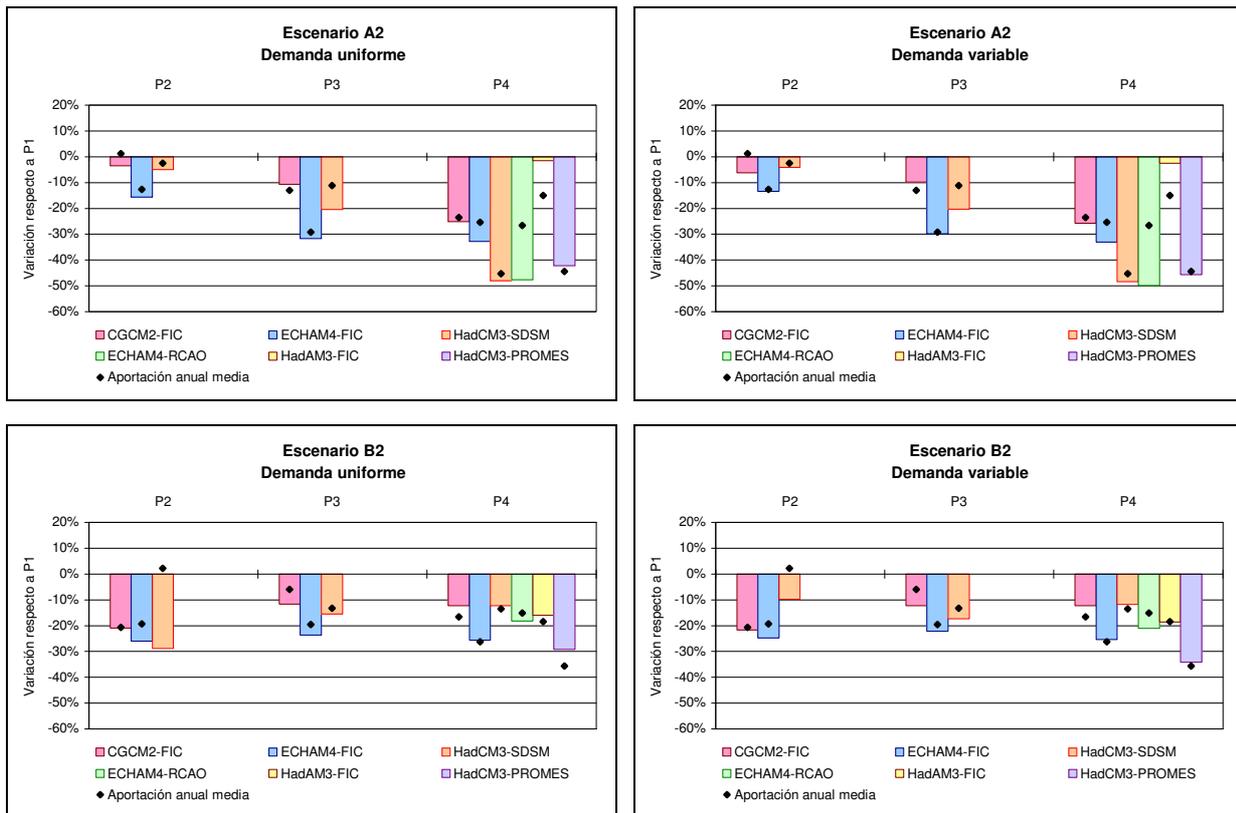


Figura 64. Evolución de la variación del recurso disponible (%) de P2 a P4 respecto al periodo de control (P1) en la demarcación hidrográfica del Júcar.

Dentro de cada uno de los escenarios climáticos, A2 y B2, no se distinguen diferencias en la variación del RD en los diferentes tipos de demanda (uniforme/variable). Sólo existe un caso en que sí hay diferencia y es con el modelo HadCM3-SDSM en el escenario B2, en P2.

En el escenario A2 se aprecia una tendencia decreciente del RD desde P2 a P4 para los tres modelos de los que se dispone información. Sin embargo, el ritmo de decrecimiento es diferente entre los modelos. Con los modelos CGCM2-FIC y HadCM3-SDSM se produce una reducción constante y progresiva de P2 a P4. En cambio, con el modelo ECHAM4_FIC la reducción de P2 a P3 es mucho mayor que de P3 a P4. La pendiente de la reducción es relativamente similar en los dos primeros modelos y sensiblemente independiente del tipo de demanda. La misma que la del modelo ECHAM4-FIC al pasar de P2 a P3.

En el escenario B2 para los modelos de los que se dispone información de todos los períodos de estudio, la tendencia mayoritaria es a un aumento del RD a medio plazo (P3) y a una estabilización a largo plazo (P4).

Por lo que se refiere a las diferencias entre escenarios, se observa que en el escenario B2 los resultados de P2 son notablemente peores que en el escenario A2. En cambio, en P3 la situación es similar o ligeramente mejor en B2 que en A2, y en P4, en general, B2 es claramente más favorable en B2, a excepción del modelo HadAM3_FIC. Por lo tanto, en la demarcación del Júcar, sólo en P4 el escenario B2 supone una ventaja clara con respecto al A2.

En cualquier caso, las reducciones previstas del RD, salvo en el período P2 del escenario A2, son, en general, superiores al 10% del RD obtenido en P1. Por lo tanto, para mantener los niveles de garantía de P1 son necesarias medidas que permitan incrementar sustancialmente la oferta de recursos o reducir sustancialmente las demandas.

Es interesante comentar que existen algunos casos de los modelos CGCM2-FIC y HadCM3-SDSM en que, a pesar de mantenerse la aportación anual media respecto a P1, el RD disminuye. Esto sucede porque los mínimos de las series de aportaciones correspondientes son inferiores y limitan el RD, a pesar de que el conjunto de aportaciones de las series sean similares o incluso mayores, lo que se refleja con ligeras variaciones o incluso en incrementos de la aportación anual media (ver diagrama de cajas del ANEJO 1).

4.10. DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DEL EBRO

4.10.1. ELEMENTOS QUE INTEGRAN EL SISTEMA

4.10.1.1. APORTACIONES

En la Figura 65 se reflejan los 52 puntos considerados para el cálculo de las aportaciones en la demarcación del Ebro. De este modo, la aportación de cálculo representa, dependiendo de la proyección, entre el 99,0% y el 99,9% de la aportación total de la cuenca. La aportación de la que se prescinde no se considera relevante en el cálculo del recurso disponible. En la Figura 65 también se incluyen los embalses considerados en el modelo.

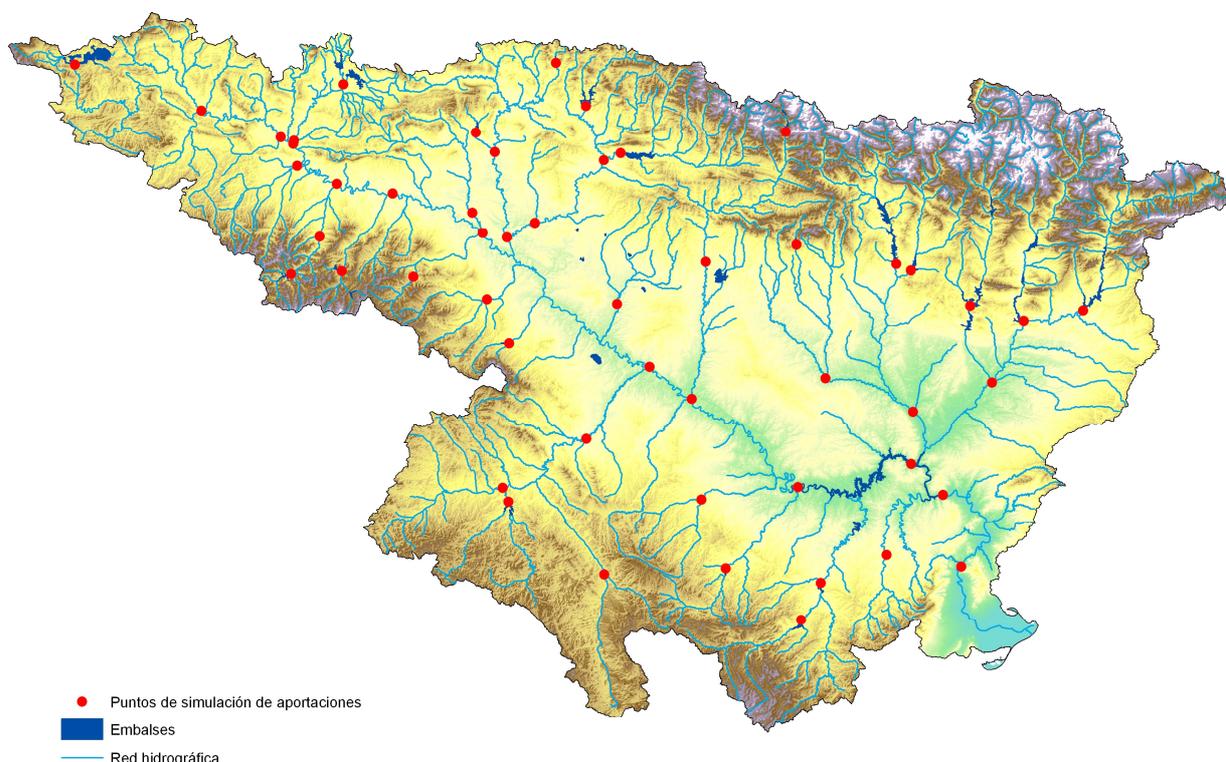


Figura 65. Demarcación hidrográfica del Ebro

A continuación, en la Figura 66, se muestran las series anuales de aportaciones de cálculo para el periodo de control, obtenidas con el modelo SIMPA, a partir de los datos climáticos derivados de los diferentes modelos de cambio climático y a partir de datos climáticos observados.

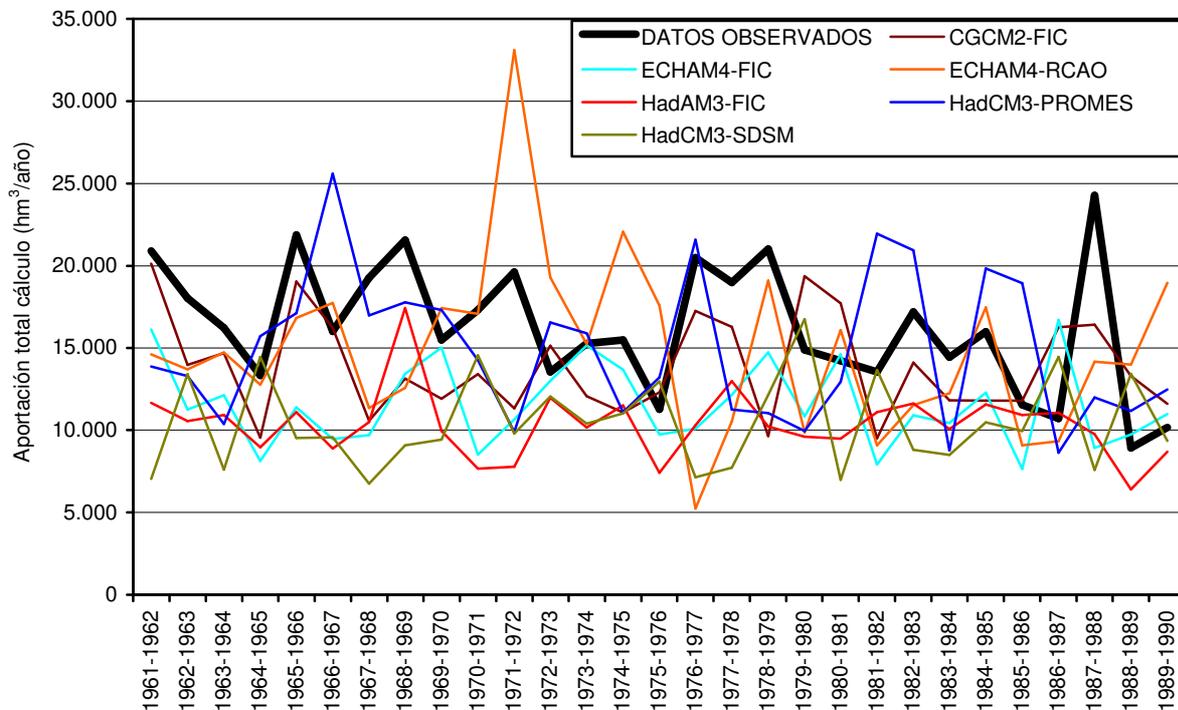


Figura 66. Series de aportación anual en el periodo de control (1961-1990) en la demarcación hidrográfica del Ebro.

Se puede observar que existe en todos los modelos una tendencia a subestimar la serie “observada”. La aportación anual media en el periodo de control con los datos observados es de 16.300 $\text{hm}^3/\text{año}$, mientras que este mismo valor para el conjunto de modelos oscila entre 10.300 $\text{hm}^3/\text{año}$ y 15.000 $\text{hm}^3/\text{año}$. Además, existe una gran variabilidad entre modelos. Por tanto, ya se refleja un grado de incertidumbre considerable en los datos de partida a tener en cuenta para el cálculo del recurso disponible.

En el ANEJO1 se recoge la evolución de las aportaciones anuales en los cuatro periodos de estudio y los diagramas de cajas de las aportaciones anuales para cada una de las proyecciones de estudio.

4.10.1.2. DEMANDAS

Para evaluar el recurso disponible de la demarcación se ha colocado al final de la cuenca una demanda que representa al conjunto de demandas de toda la demarcación, como se aprecia en la Figura 68.

4.10.1.3. CAUDALES MÍNIMOS

En la demarcación del Ebro no se han considerado caudales mínimos porque a fecha de 1 de mayo de 2011 todavía no había salido a información pública el Plan de Cuenca.

4.10.1.4. ELEMENTOS DE REGULACIÓN

En la demarcación del Ebro se han considerado 39 embalses que representan una capacidad media de 7.000 hm³ y se muestran en la Figura 65. Los embalses que tienen un uso exclusivamente hidroeléctrico son Escales y Canelles.

En la Tabla 45 se refleja el volumen máximo mensual de cada embalse (o grupo de embalses). Los volúmenes mínimos se han considerado despreciables.

EMBALSE	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP
Alloz	62	62	62	62	62	62	62	62	62	62	62	62
Balsas del Arba	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70
Búbal y Lanuza	73	73	89	89	89	89	73	73	73	89	89	81
Calanda	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52
Camarasa, Talam y Terradets	432	432	432	432	432	432	432	432	432	432	432	432
Canelles y Escales	794	794	794	794	794	794	794	794	794	794	794	794
Caspe II	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78
Cueva Foradada	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33
Ebro	513	513	513	513	513	513	513	513	513	513	513	513
Eugui	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21
El Grado I y Mediano	702	702	781	781	781	781	747	747	802	835	835	702
Itoiz	397	397	397	397	397	397	397	397	397	397	397	397
Joaquin Costa o Barasona	88	88	88	88	88	88	88	88	88	88	88	88
La Loteta	97	97	97	97	97	97	97	97	97	97	97	97
Mansilla	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64
Mequinenza	1.457	1.457	1.457	1.457	1.457	1.457	1.457	1.457	1.457	1.457	1.457	1.457
Pajares y González Lacasa	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66
Rialb y Oliana	478	478	478	478	478	478	478	478	478	478	478	478
Ribarroja	211	211	211	211	211	211	211	211	211	211	211	211
Santa Ana	229	229	229	229	229	229	229	229	229	229	229	229
Santolea	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51
La Sotonera	189	189	189	174	174	174	174	174	189	189	189	189
La Tranquera	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80
Ullivarri-Gamboa y Urrúnaga	208	208	208	208	208	208	208	208	208	208	208	208
Vadiello	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
El Val	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
Yesa	451	451	451	451	451	451	451	451	451	451	451	451
TOTAL MENSUAL	6.935	6.935	7.030	7.015	7.015	7.015	6.965	6.965	7.035	7.084	7.084	6.943

Tabla 45. Embalses de la demarcación hidrográfica del Ebro. Distribución del volumen máximo mensual (hm³/mes).



4.10.1.5. CONDUCCIONES

En la siguiente tabla se indican las capacidades máximas de las conducciones consideradas en la demarcación del Ebro.

Nombre conducción	Qmax (hm ³ /mes)
Canal Bardenas	155,5
Acequia de Sora	28,5
Fuempudia-La Loteta	28,5
Canal Imperial de Aragón	77,8
Conducción reversible desde C. Imperial	33,7
Abastecimiento a Zaragoza desde Yesa	10,88
Abastecimiento a Zaragoza desde La Loteta	10,88
Canal del Gállego	194,4
Canal de Monegros	181,4
Canal Cinca	191,8
Canal Aragón y Cataluña	93,3
Canal de Enlace	67,4

Tabla 46. Capacidad máxima de las conducciones consideradas en la demarcación del Ebro.

4.10.2. ESQUEMA DE CÁLCULO

En la Figura 67 se muestra el esquema completo de la demarcación del Ebro donde aparecen todas las demandas distribuidas.

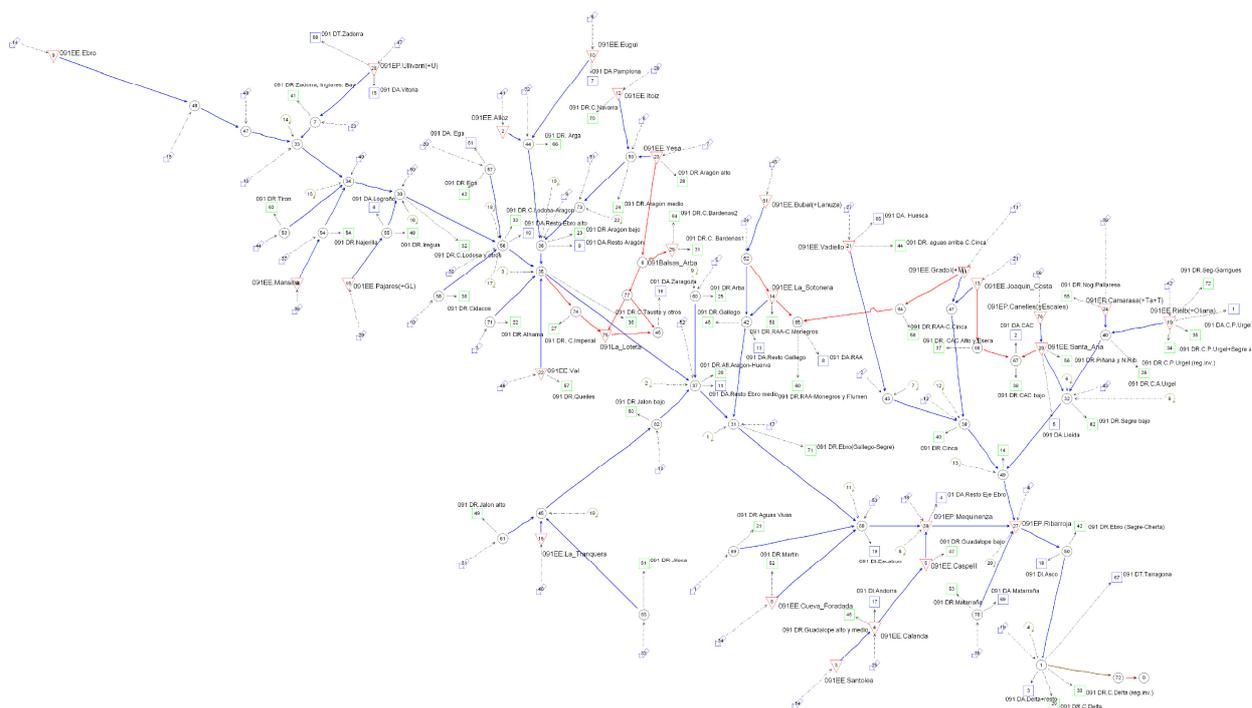


Figura 67. Esquema completo de optimización de la demarcación del Ebro. Demanda distribuida

Para el cálculo del recurso disponible, según se indica en el apartado 3.2.3 se ha sustituido el conjunto de demandas por una única demanda al final de la cuenca, como se muestra en la Figura 68.

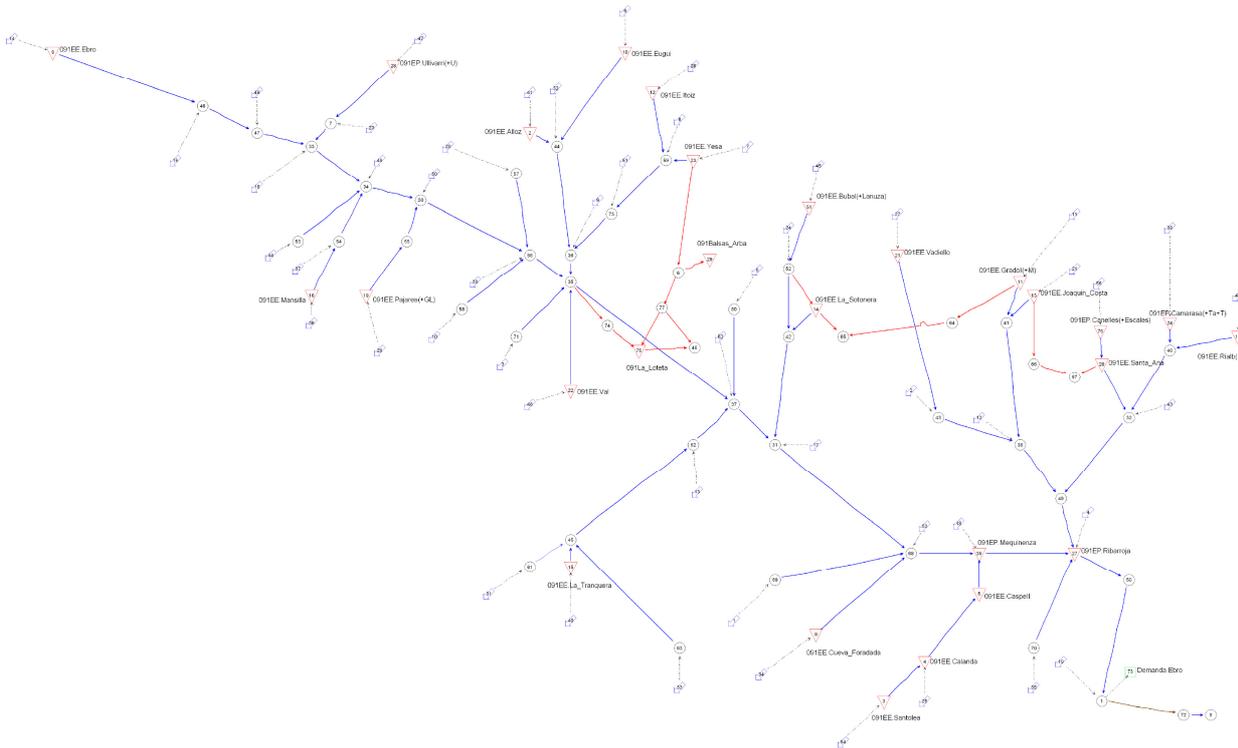


Figura 68. Esquema simplificado de optimización de la demarcación del Ebro. Demanda concentrada

4.10.3. RESULTADOS

4.10.3.1. PERÍODO DE CONTROL: COMPARACIÓN ENTRE LOS RESULTADOS OBTENIDOS A PARTIR DE DIFERENTES PROYECCIONES Y DE DATOS OBSERVADOS

En la Figura 69 se muestran las desviaciones de las estimaciones de la aportación anual media y el RD, tanto para demanda uniforme como variable, de los diferentes modelos de cambio climático respecto a las estimaciones obtenidas con datos observados (referencia).

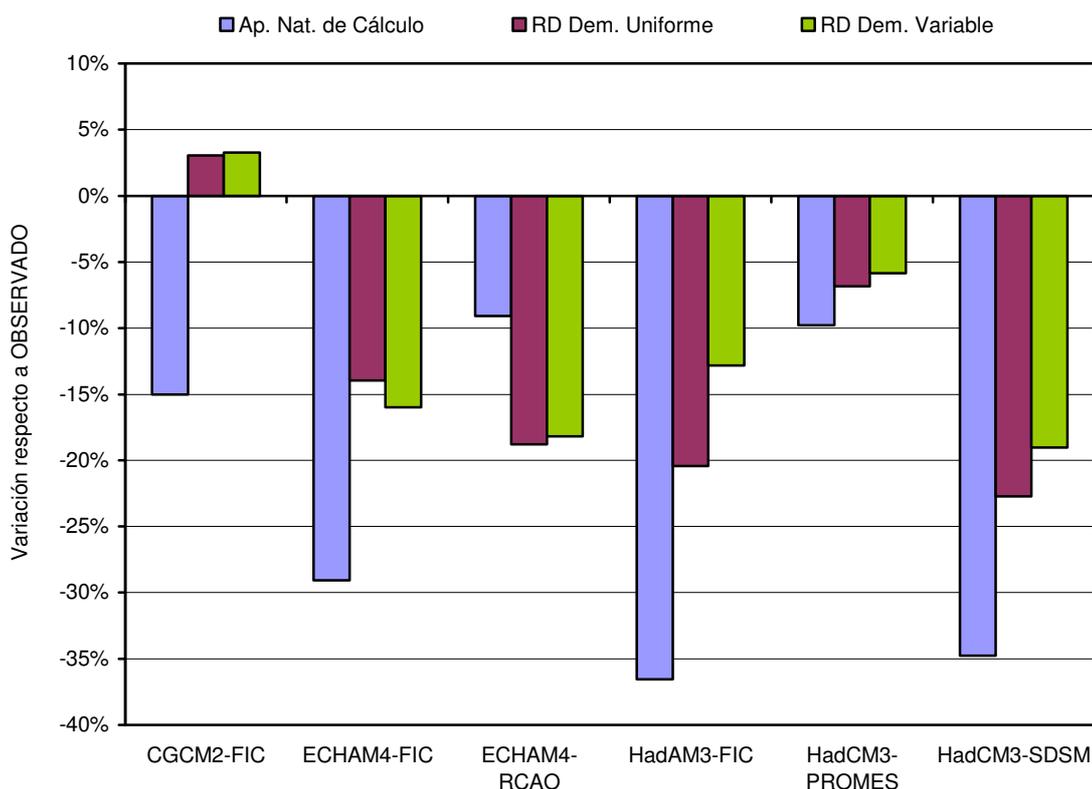


Figura 69. Desviación de las estimaciones de la aportación anual media y el recurso disponible de los diferentes modelos climáticos respecto a los datos observados en la demarcación hidrográfica del Ebro.

Se observa que el modelo CGCM2-FIC es el que presenta unas estimaciones del RD más próximas a los valores de la serie “observada”.

En general, el RD en demanda variable es el que presenta menor desviación respecto a los datos observados y puede ser debido a que el criterio de garantía es menos exigente que en demanda uniforme.

Es destacable que el modelo ECHAM4-RCAO presenta más reducción del RD que de la propia aportación. Probablemente esto sea causado por los picos (valores extremos) de la serie de aportaciones del modelo que superan cualquier valor de la serie “observada” y desplazan el valor medio (ver Figura 66). El RD del modelo, sin embargo, se ve limitado por las aportaciones mínimas de la serie, que son inferiores a la serie observada (ver Figura 66 y ANEJO 1).

4.10.3.2. EVOLUCIÓN DEL RECURSO DISPONIBLE CON RESPECTO AL PERÍODO DE CONTROL PARA LAS DISTINTAS PROYECCIONES

En la Tabla 47 y en la Tabla 48 se muestra, para cada tipo de demanda, la variación del RD respecto al periodo de control (1961-1990), para cada uno de los modelos y periodos estudiados: P2 (2011-2040), P3 (2041-2070) y P4 (2071-2100). Según el grado de variación del RD, la celda aparece en verde (> 0%), naranja (de -20% a 0%) o rojo (< -20%).



Escenario	Periodo	CGCM2-FIC	ECHAM4-FIC	HadAM3-FIC	HadCM3-SDSM	HadCM3-PROMES	ECHAM4-RCAO	Media
A2	2011-2040	-11	-27		-12			-17
	2041-2070	-14	-27		-19			-20
	2071-2100	-19	-31	-15	-43	-38	-46	-32
B2	2011-2040	-8	-25		-32			-22
	2041-2070	-9	-26		-16			-17
	2071-2100	-6	-26	-15	-12	-23	-24	-18

Tabla 47. Variación del recurso disponible (%) para demanda uniforme en cada periodo respecto al período de control en la demarcación hidrográfica del Ebro.

Escenario	Periodo	CGCM2-FIC	ECHAM4-FIC	HadAM3-FIC	HadCM3-SDSM	HadCM3-PROMES	ECHAM4-RCAO	Media
A2	2011-2040	-7	-13		-12			-11
	2041-2070	-11	-18		-18			-16
	2071-2100	-17	-21	-12	-40	-26	-37	-26
B2	2011-2040	-8	-14		-9			-10
	2041-2070	-12	-21		-17			-17
	2071-2100	-5	-18	-10	-17	-23	-22	-16

Tabla 48. Variación del recurso disponible (%) para demanda variable en cada periodo respecto al período de control en la demarcación hidrográfica del Ebro.

Asimismo, en la Figura 70 se representan gráficamente los resultados anteriores.

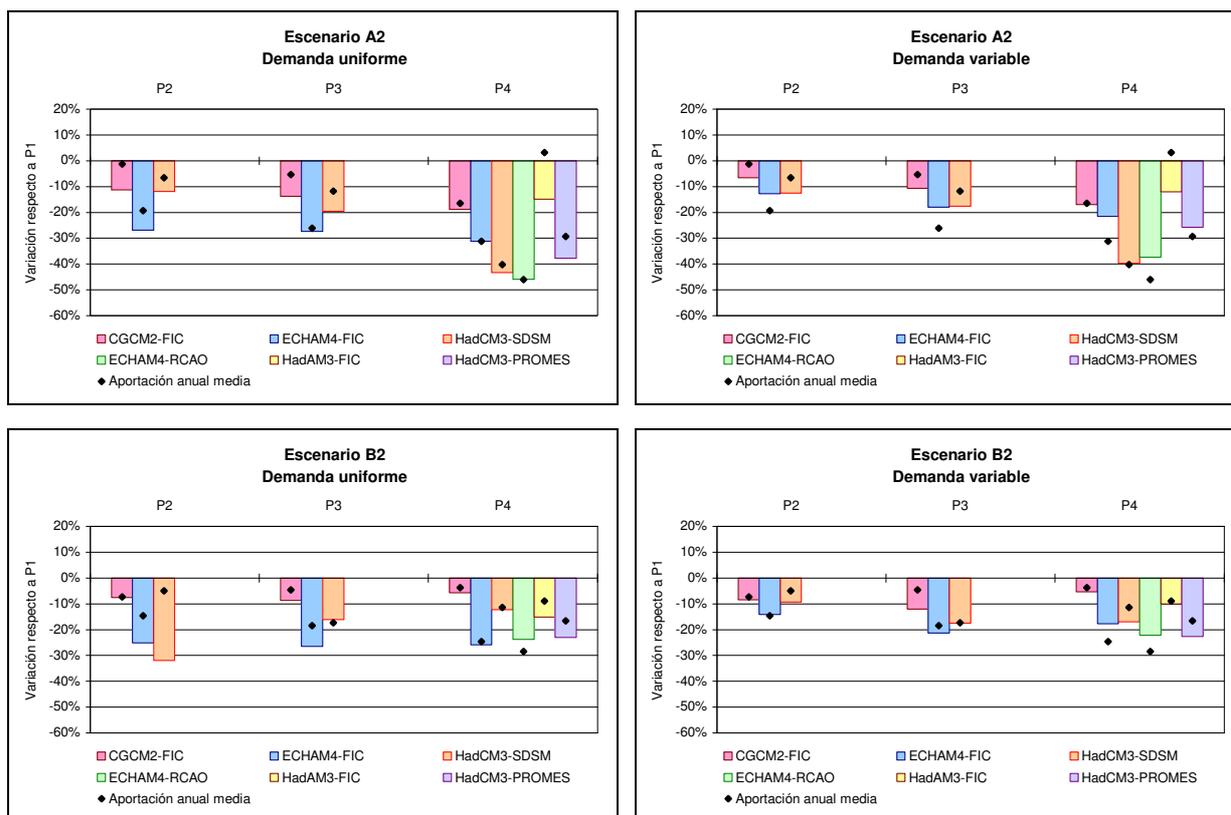


Figura 70. Evolución de la variación del recurso disponible (%) de P2 a P4 respecto al periodo de control (P1) en la demarcación hidrográfica del Ebro.

No se aprecian grandes diferencias en el RD entre ambos tipos de demanda dentro de un mismo escenario, a excepción del modelo ECHAM4-FIC.

En el escenario A2 se distingue una tendencia del RD claramente decreciente a lo largo del tiempo, de forma constante y sostenida en los tres modelos de los que se dispone información (CGCM2-FIC, ECHAM4-FIC y HadCM3-SDSM).

En el escenario B2, en cambio, no se observa una tendencia decreciente del RD pero tampoco hay una tendencia clara: o bien se mantiene estable en los tres periodos, o se mantiene estable en los dos últimos periodos o bien adquiere una tendencia creciente desde P2 a P4.

En el escenario B2 los resultados de RD en P4 son claramente mejores que en el escenario A2 para todos los modelos.

Se aprecian algunos casos en que a pesar de que la aportación anual media permanece estable o aumenta respecto al periodo de control, el RD disminuye. Esto es debido a que el RD está condicionado a las aportaciones mínimas, que en estos casos son menores, y en cambio la aportación anual media depende del conjunto de las aportaciones de la serie. En el ANEJO1 se puede consultar la distribución de las aportaciones anuales y sus mínimos para cada una de las proyecciones.

4.11. DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DEL GALICIA COSTA

4.11.1. ELEMENTOS QUE INTEGRAN EL SISTEMA

4.11.1.1. APORTACIONES

En la figura siguiente se reflejan los 45 puntos considerados para el cálculo de las aportaciones de la demarcación del Galicia Costa. La aportación así evaluada, representa dependiendo de la proyección, entre el 97% y el 100% de la aportación total de todos los cauces considerados en el modelo de optimización. En consecuencia, la aportación de la que se prescinde es irrelevante en el resultado del estudio.

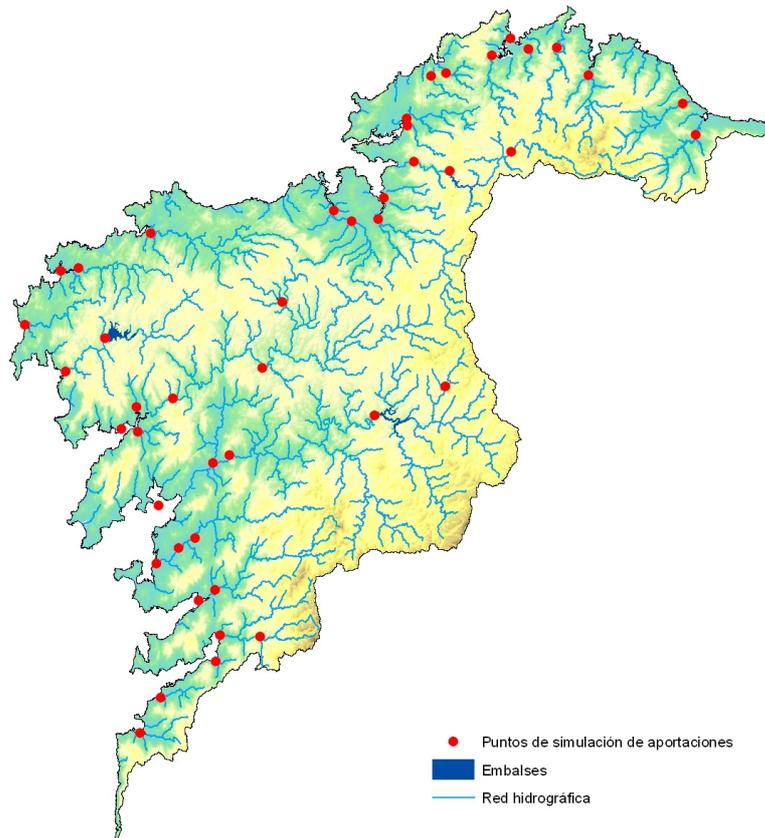


Figura 71. Demarcación hidrográfica del Galicia Costa

En el gráfico que se incluye a continuación se representan las series anuales de aportaciones de cálculo para el periodo de control obtenidas con el modelo SIMPA a partir de los datos climáticos derivados de los diferentes modelos de cambio climático y a partir de datos climáticos observados.

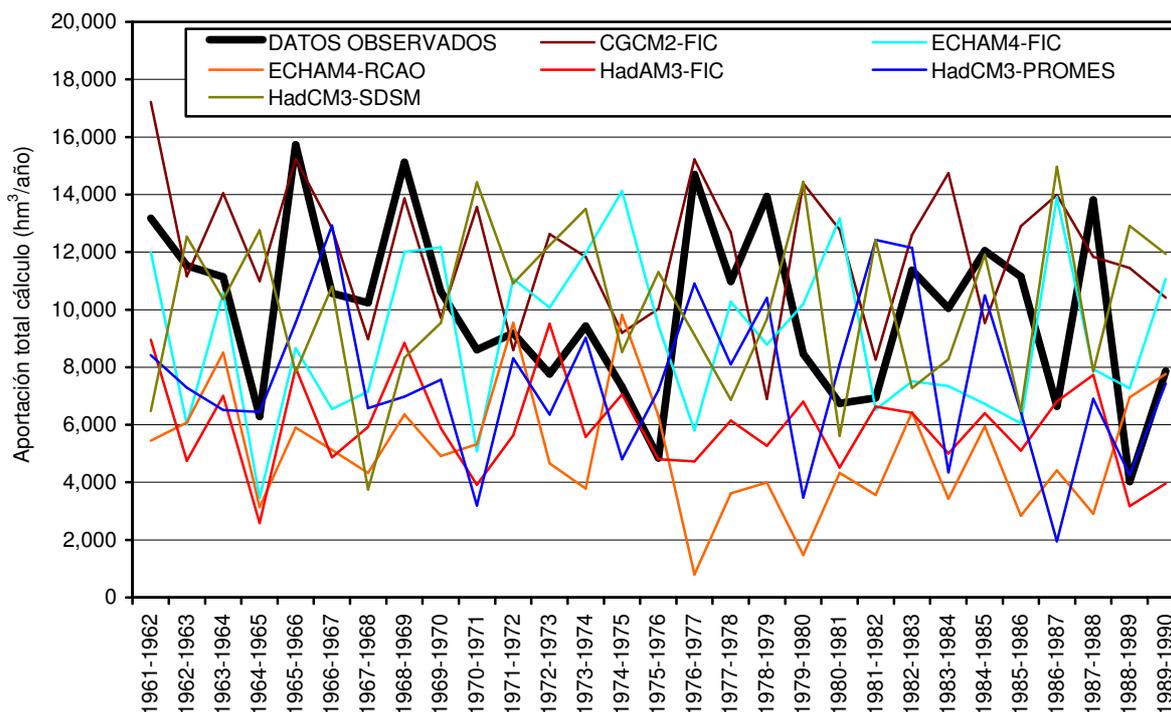


Figura 72. Series de aportación anual en el periodo de control (1961-1990) en la demarcación hidrográfica del Galicia Costa

En el análisis de las series de aportación de cambio climático se observa como ninguna sigue un patrón de distribución temporal similar al de la serie obtenida a partir de datos observados. Igualmente existe una gran disparidad entre las diferentes series entre sí. Cabe señalar que la aportación media anual de las series de cambio climático se encuentra entre 5.090 hm³/año para el modelo ECHAM4-RCAO y 11.984 hm³/año para el modelo CGCM2-FIC, mientras que la serie calculada a partir de los datos observados tiene una media de 10.009 hm³/año. Tomar como punto de partida unas series de aportaciones en régimen natural tan dispares, conlleva una incertidumbre que se trasladará al cálculo del recurso disponible.

La evolución temporal de las aportaciones anuales de cada uno de los modelos a lo largo de los cuatro períodos considerados se recoge en el ANEJO1. En este mismo anejo también figuran los diagramas de cajas de las series de aportaciones anuales.

4.11.1.2. DEMANDAS

Para evaluar el recurso disponible en la demarcación de Galicia Costa, que engloba distintas cuencas independientes, se ha colocado una demanda al final de cada una de ellas, así como de cada subcuenca que vierta a la misma agua de transición, tal como se aprecia en Figura 74.

4.11.1.3. CAUDALES MÍNIMOS

En el caso de la demarcación de la demarcación de Galicia Costa, el uno de mayo de 2011, no figuraban en el borrador del Plan Hidrológico de Cuenca sometido a consulta pública los valores de los caudales mínimos, por lo que no se han tenido en cuenta en el presente estudio.

4.11.1.4. ELEMENTOS DE REGULACIÓN



En la demarcación del Galicia Costa se han considerado cuatro embalses con una capacidad total de 515 hm³, que aparecen en la Figura 71. Los embalses que actualmente tienen un uso exclusivamente hidroeléctrico son: Eume, Fervenza y Portodemouros.

En la tabla siguiente se refleja el volumen máximo mensual de cada embalse. Los volúmenes mínimos se han considerado despreciables.

EMBALSE	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep
Eume	117	117	117	117	117	117	117	117	117	117	117	117
Fervenza	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99
Portodemouros	282	282	282	282	282	282	282	282	282	282	282	282
Vilagudín	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17
TOTAL MENSUAL	515	515	515	515	515	515	515	515	515	515	515	515

Tabla 49. Embalses de la demarcación hidrográfica del Galicia Costa. Distribución del volumen máximo mensual (hm³/mes).

4.11.1.5. CONDUCCIONES

En la siguiente tabla se indican las capacidades de las conducciones consideradas en el esquema de la demarcación del Galicia Costa.

Nombre conducción	Qmax (hm ³ /mes)
Canal Eiras	4,6
Trasvase desde el Tambre para el abastecimiento de Santiago	2,4
Conducción desde el Ulla para el abastecimiento de Santiago	Sin limitación

Tabla 50. Capacidad máxima de las conducciones consideradas en la demarcación del Galicia Costa.

En la conducción desde el río Ulla para el abastecimiento de Santiago no se ha limitado su capacidad por no resultar condicionante para la estimación del recurso disponible.

4.11.2. ESQUEMA DE CÁLCULO

En la Figura 73 se muestra el esquema completo de la demarcación del Galicia Costa donde aparecen todas las demandas distribuidas.

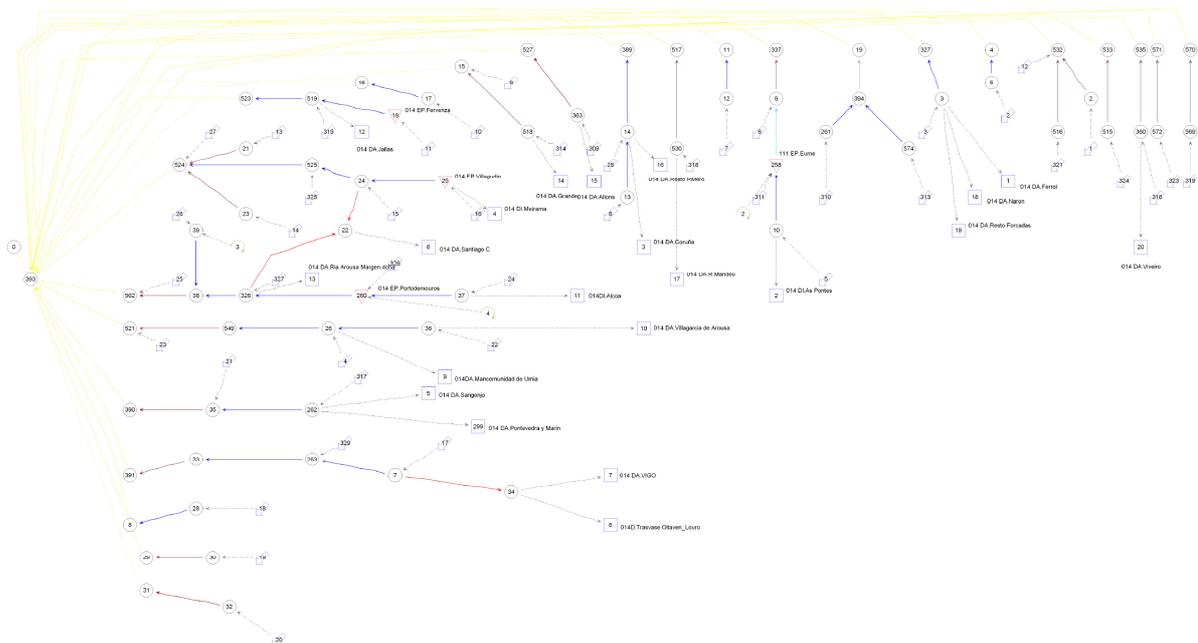


Figura 73. Esquema completo de optimización de la demarcación de Galicia Costa. Demanda distribuida.

Para el cálculo del recurso disponible, según se indica en el apartado 3.2.3 se ha sustituido el conjunto de demandas por una única demanda al final de cada una de las cuencas integradas en la demarcación o, en su caso, de las subcuencas vertientes a la misma masa de transición, como se muestra en la figura siguiente.

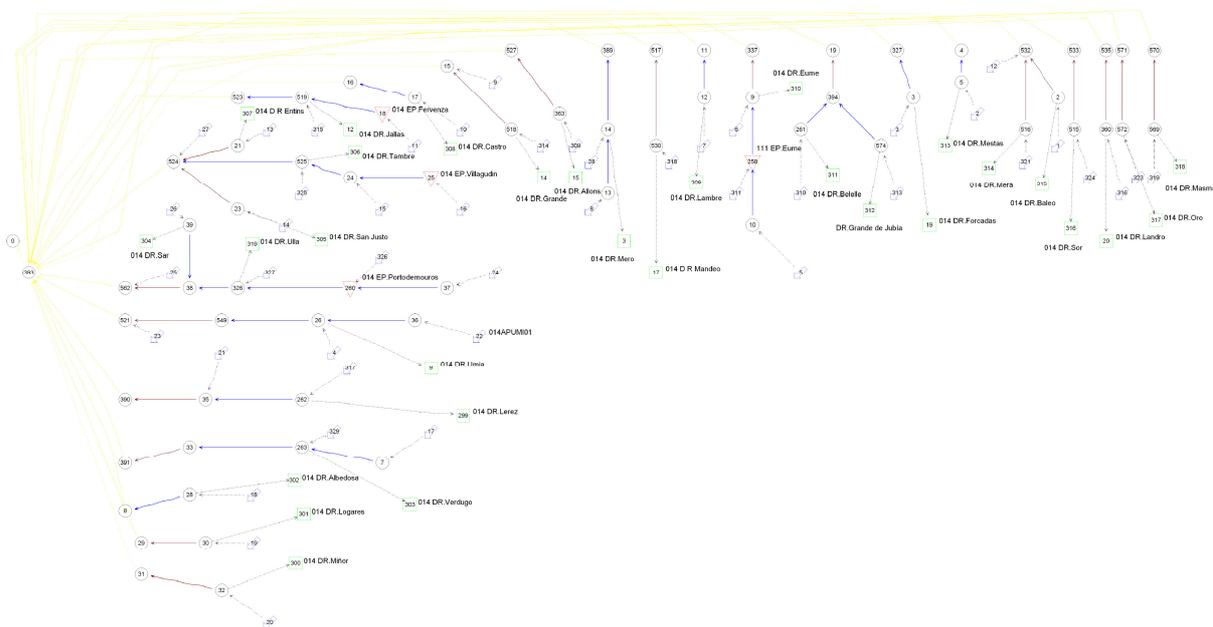


Figura 74. Esquema simplificado de optimización de la demarcación de Galicia Costa. Demanda concentrada

4.11.3. RESULTADOS

4.11.3.1. PERÍODO DE CONTROL: COMPARACIÓN ENTRE LOS RESULTADOS OBTENIDOS A PARTIR DE DIFERENTES PROYECCIONES Y DE DATOS OBSERVADOS.

En la figura adjunta se muestran las desviaciones de las estimaciones de la aportación anual media y del RD, tanto para demanda uniforme como variable, de los diferentes modelos de cambio climático respecto a las estimaciones obtenidas con datos observados, que se toman como referencia (eje de abscisas).

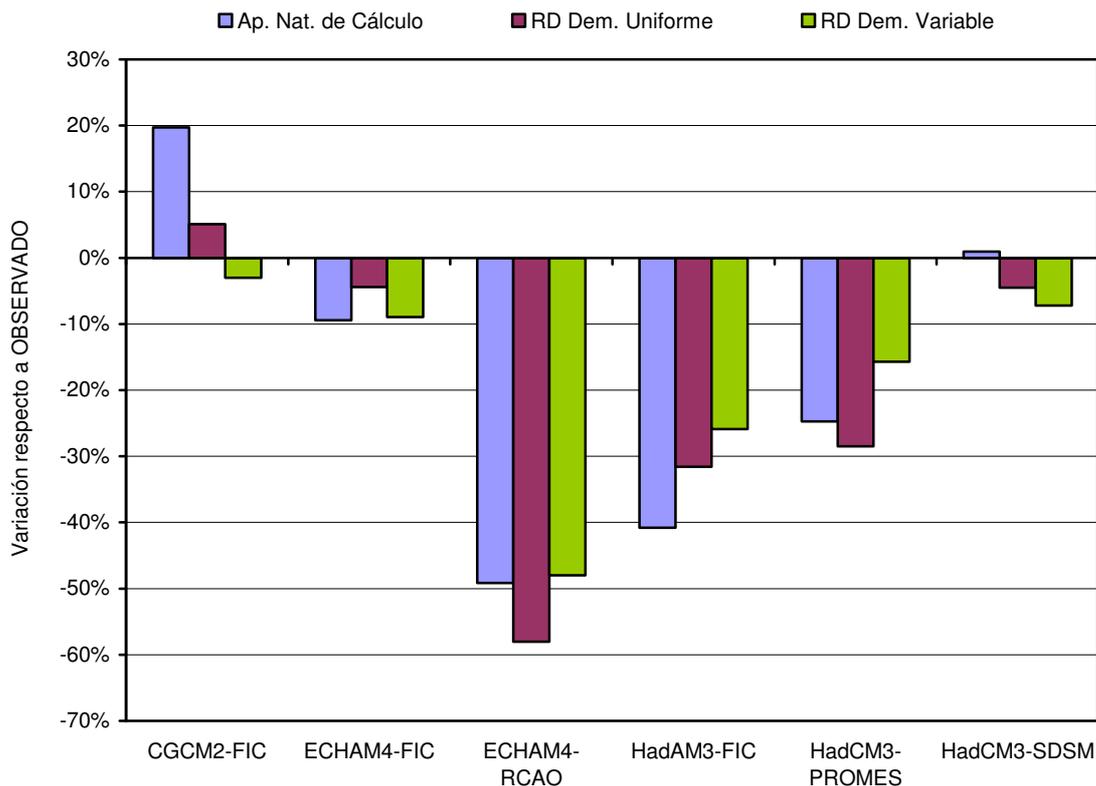


Figura 75. Desviación de las estimaciones de la aportación anual media y el recurso disponible de los diferentes modelos climáticos respecto a los datos observados en la demarcación hidrográfica del Galicia Costa.

Se aprecia una variación aparentemente anómala en el modelo CGCM2-FIC, con un incremento importante de la aportación media anual junto con un incremento menos significativo del recurso disponible con demanda uniforme y una ligera reducción del recurso disponible con demanda variable. Este hecho puede explicarse por la distribución mensual de las aportaciones, que en los meses de estiaje (abril-septiembre) es más desfavorable en la serie del modelo que en la obtenida a partir de datos climáticos observados.

En el resto de los modelos, la variación del valor medio de la aportación anual con respecto a la resultante de datos climáticos observados oscila entre un incremento del 1% y una reducción del 49%. La reducción del RD para demanda uniforme oscila entre el 4% y el 58%, mientras que para demanda variable lo hace entre el 7% y el 48%. La reducción del recurso disponible es superior a la del recurso natural en los modelos ECHAM4-RCAO y HadCM3-PROMES debido a la mayor irregularidad de las aportaciones y a su menor magnitud respecto a las resultantes de los datos climáticos observados, así como a la escasa regulación de la cuenca.

4.11.3.2. EVOLUCIÓN DEL RECURSO DISPONIBLE CON RESPECTO AL PERÍODO DE CONTROL PARA LAS DISTINTAS PROYECCIONES

En la Tabla 51 y en la Tabla 52 se muestra, para cada tipo de demanda, la variación del RD respecto al periodo de control (1961-1990) para cada uno de los modelos y periodos estudiados: P2 (2011-2040), P3 (2041-2070) y P4 (2071-2100). Según el grado de variación del RD, la celda aparece en verde (> 0%), naranja (de -20% a 0%) o rojo (< -20%)

Esc	Periodo	CGCM2-FIC	ECHAM4-FIC	HadAM3-FIC	HadCM3-SDSM	HadCM3-PROMES	ECHAM4-RCAO	Media
A2	2011-2040	-10	-30		-11			-17
	2041-2070	-14	-37		-21			-24
	2071-2100	-21	-42	-13	-29	-50	-27	-30
B2	2011-2040	-2	-10		-25			-12
	2041-2070	-6	-34		-22			-21
	2071-2100	-7	-40	-18	-24	-11	-11	-19

Tabla 51. Variación del recurso disponible (%) para demanda uniforme en cada periodo respecto al período de control en la demarcación hidrográfica del Galicia Costa.

Esc	Periodo	CGCM2-FIC	ECHAM4-FIC	HadAM3-FIC	HadCM3-SDSM	HadCM3-PROMES	ECHAM4-RCAO	Media
A2	2011-2040	-3	-18		-11			-11
	2041-2070	-11	-26		-12			-16
	2071-2100	-19	-32	-7	-23	-42	-33	-26
B2	2011-2040	-1	-10		-11			-7
	2041-2070	-9	-20		-14			-14
	2071-2100	-8	-25	-15	-13	-20	-12	-16

Tabla 52. Variación del recurso disponible (%) para demanda variable en cada periodo respecto al período de control en la demarcación hidrográfica del Galicia Costa.

En la Figura 76 se representan los resultados anteriores junto con la evolución de la aportación media anual.

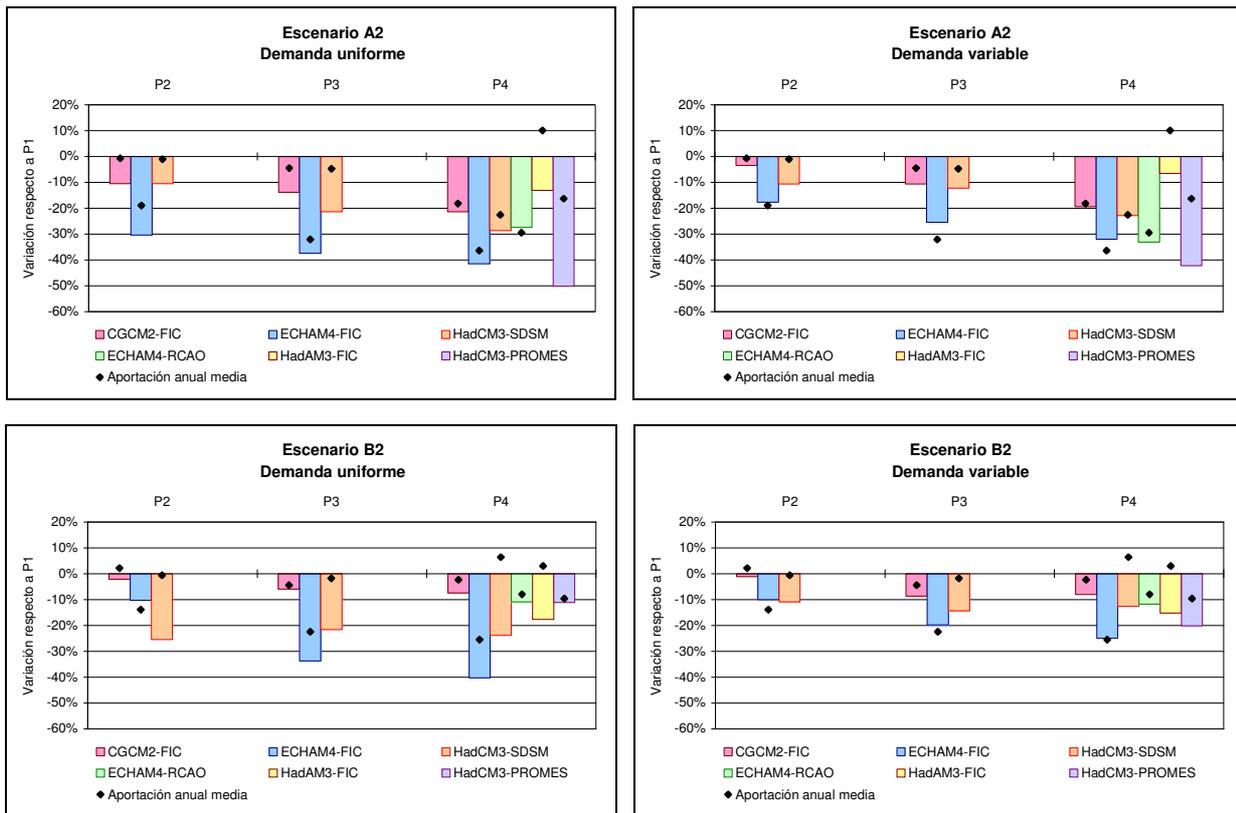


Figura 76. Evolución de la variación del recurso disponible (%) de P2 a P4 respecto al periodo de control (P1) en la demarcación hidrográfica del Galicia Costa.

En general, si bien no se cumple en todos los modelos, los porcentajes de reducción del RD son menores en el escenario B2 que en el A2 para el medio y fundamentalmente el largo plazo. Habitualmente la reducción es mayor con demanda uniforme que con demanda variable.

En el escenario A2 con demanda uniforme y variable hay una tendencia de reducción creciente y sostenida en los tres periodos para los tres modelos que los contemplan (ECHAM4-FIC, CGCM2-FIC, y HadCM3-SDSM). En el escenario B2 se aprecia la misma tendencia de reducción creciente en el modelo ECHAM4-FIC, mientras que en los dos restantes, CGCM2-FIC, y HadCM3-SDSM, el RD permanece sensiblemente constante en el tiempo.

Existen dos casos en los que la aportación media anual aumenta mientras que el RD se reduce. Se trata de los modelos HadCM3-SDSM y HadAM3-FIC en el período P4. En el modelo HadCM3-SDSM es necesario analizar la variabilidad interanual e intraanual de la serie de aportaciones, puesto que los valores anuales reflejados en el Anejo 1 no permiten explicar este comportamiento, ya que tanto la media como los mínimos anuales aumentan en el período P4 frente a P1. En el HadAM3-FIC, tanto la media como el mínimo anual se mantienen sensiblemente constantes, pero la distribución temporal de los mínimos anuales podría ser más desfavorable y su número se incrementa en P4 respecto a P1; no obstante, para tener una explicación concluyente también sería necesario analizar la serie a nivel mensual.

4.12. DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DEL TINTO, ODIEL Y PIEDRAS

4.12.1. ELEMENTOS QUE INTEGRAN EL SISTEMA

4.12.1.1. APORTACIONES

En la figura siguiente se reflejan los puntos considerados para el cálculo de las aportaciones de la demarcación del Tinto, Odiel y Piedras. El punto que aparece fuera de la parte terrestre de la demarcación representa la confluencia de las marismas del Tinto y del Odiel y corresponde a las aportación al agua de transición distinta de la de los dos ríos principales indicados.

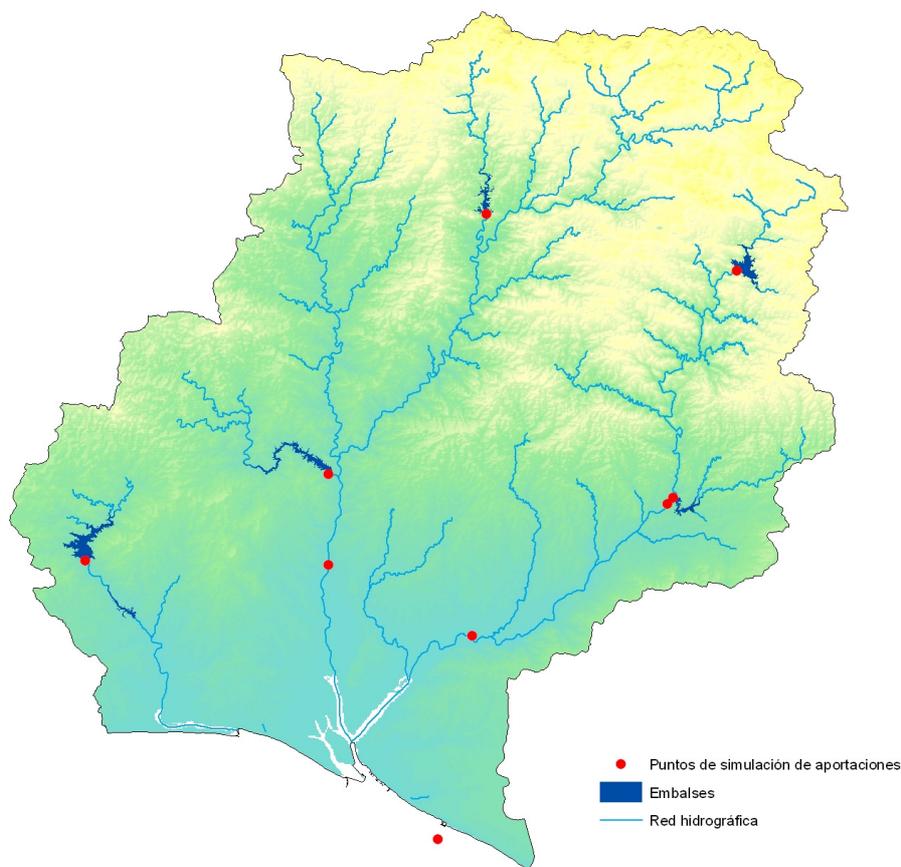


Figura 77. Demarcación hidrográfica del Tinto, Odiel y Piedras.

En el gráfico que se incluye a continuación se muestran las series anuales de aportaciones de cálculo, para el periodo de control, obtenidas con el modelo SIMPA, a partir de los datos climáticos derivados de los diferentes modelos de cambio climático y a partir de datos climáticos observados.

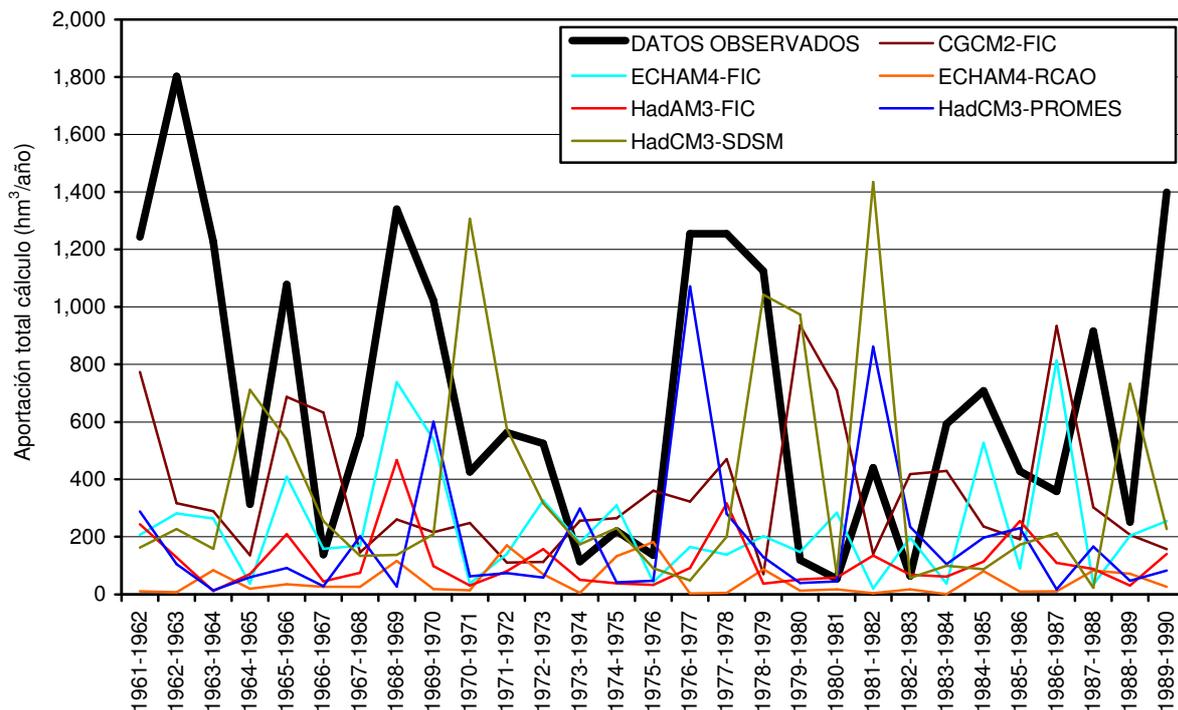


Figura 78. Series de aportación anual en el periodo de control (1961-1990) en la demarcación hidrográfica del Tinto, Odiel y Piedras.

Puede apreciarse cómo ninguna de las series de aportación derivadas de los modelos de cambio climático sigue un patrón de distribución similar al de la serie obtenida a partir de datos climáticos observados. Los valores de la aportación de las series de cambio climático son de un orden de magnitud muy inferior. La aportación media anual en los datos observados es de 678 $\text{hm}^3/\text{año}$, mientras que con los modelos de cambio climático oscila entre 47 $\text{hm}^3/\text{año}$ para el modelo ECHAM4-RCAO y los 366 $\text{hm}^3/\text{año}$ en el modelo HADCM3-SDSM. Igualmente se observan diferencias muy importantes en la distribución temporal entre los diferentes modelos. Todo ello conlleva a un importante grado de incertidumbre en las series de aportaciones en régimen natural, que constituyen uno de los datos capitales para la estimación del recurso disponible.

La evolución temporal de las aportaciones anuales de cada uno de los modelos a lo largo de los cuatro periodos considerados se recoge en el ANEJO1. En este mismo anejo también figuran los diagramas de cajas de las series de aportaciones anuales.

4.12.1.2. DEMANDAS

Para evaluar el recurso disponible de la demarcación se ha colocado una demanda al final de cada una de las cuencas independientes que forman parte de la demarcación y de las subcuencas vertientes a una misma agua de transición. Así son necesarias tres demandas concentradas, asociadas a la cuenca del Piedras y a las subcuencas del Tinto y del Odiel, que vierten por la misma marisma, tal como se refleja en la Figura 80.

4.12.1.3. CAUDALES MÍNIMOS

En el caso de la demarcación del Tinto, Odiel Y Piedras, a fecha uno de mayo de 2011, no se ha incluido en el borrador del Plan de Cuenca los valores de los caudales mínimos, por lo que no se han tenido en cuenta en el presente estudio.

4.12.1.4. ELEMENTOS DE REGULACIÓN

En la demarcación del Tinto, Odiel y Piedras se han considerado seis embalses, con una capacidad máxima de 203 hm³, cuya ubicación puede verse en la Figura 77.

En la tabla siguiente se refleja el volúmen máximo mensual de cada embalse. Los volúmenes mínimos se han considerado despreciables.

EMBALSES	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep
Corumbel	18	16	16	16	16	16	18	18	18	18	18	18
Jarrama	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37
Los Machos	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11
Piedras	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60
Sancho	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
Sotiel	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28
TOTAL MENSUAL	204	202	202	202	202	202	204	204	204	204	204	204

Tabla 53. Embalses de la demarcación hidrográfica del Tinto, Odiel y Piedras. Distribución del volumen máximo mensual (hm³/mes).

4.12.1.5. CONDUCCIONES

La única conducción que se ha considerado es el Canal del Piedras, cuya capacidad no constituye una limitación para la estimación del recurso disponible.

Nombre conducción	Qmax (hm ³ /mes)
Canal del Piedras	Sin limitación

Tabla 54. Capacidad máxima de las conducciones consideradas en la demarcación del Tinto, Odiel y Piedras.

4.12.2. ESQUEMA DE CÁLCULO

En la Figura 79 se muestra el esquema completo de la demarcación del Tinto, Odiel y Piedras donde aparecen todas las demandas distribuidas.

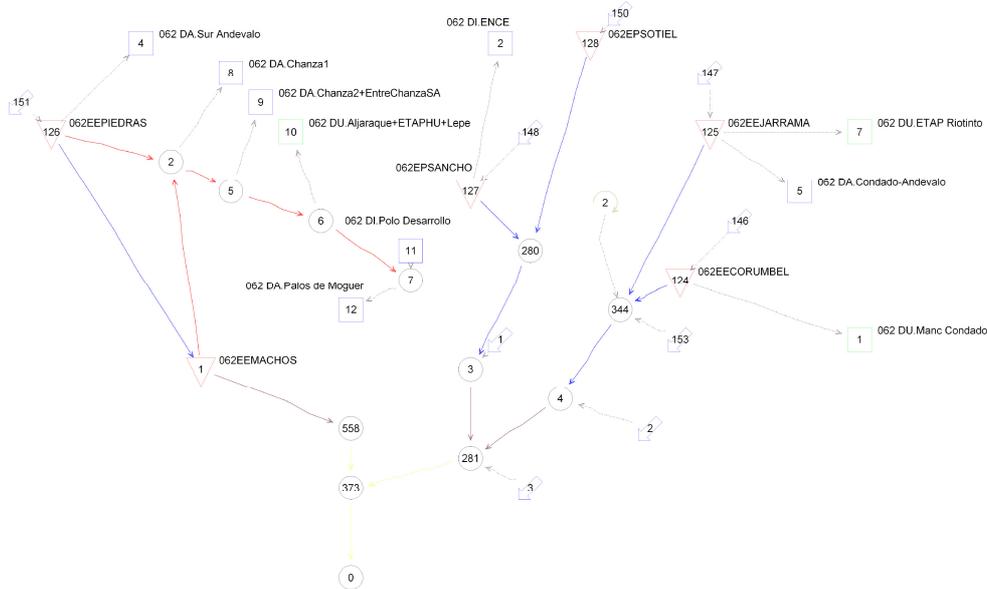


Figura 79. Esquema completo de optimización de la demarcación del Tinto, Odiel y Piedras. Demanda distribuida.

Para el cálculo del recurso disponible, según se indica en el apartado 3.2.3.3 se ha sustituido el conjunto de demandas por una única demanda una demanda al final de cada una de las cuencas independientes que forman parte de la demarcación y de las subcuencas vertientes a una misma agua de transición (marisma del Tinto y del Odiel), como se refleja en la figura siguiente.

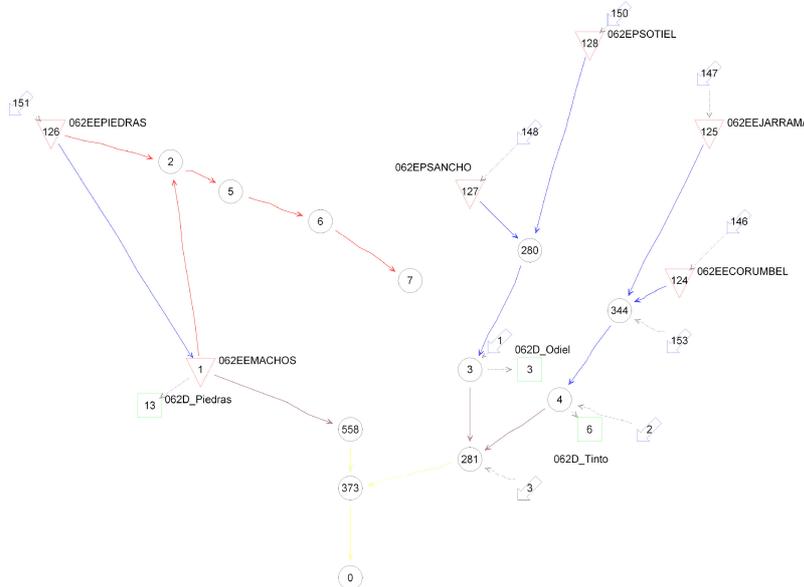


Figura 80. Esquema simplificado de optimización de la demarcación del Tinto, Odiel y Piedras. Demanda concentrada.

4.12.3. RESULTADOS

4.12.3.1. PERÍODO DE CONTROL: COMPARACIÓN ENTRE LOS RESULTADOS OBTENIDOS A PARTIR DE DIFERENTES PROYECCIONES Y DE DATOS OBSERVADOS.

En el gráfico que se incluye a continuación se muestran las desviaciones de las estimaciones de la aportación anual media y el RD, tanto para demanda uniforme como variable, de los diferentes modelos de cambio climático respecto a las estimaciones obtenidas con datos climáticos observados que se toman como referencia (eje de abscisas).

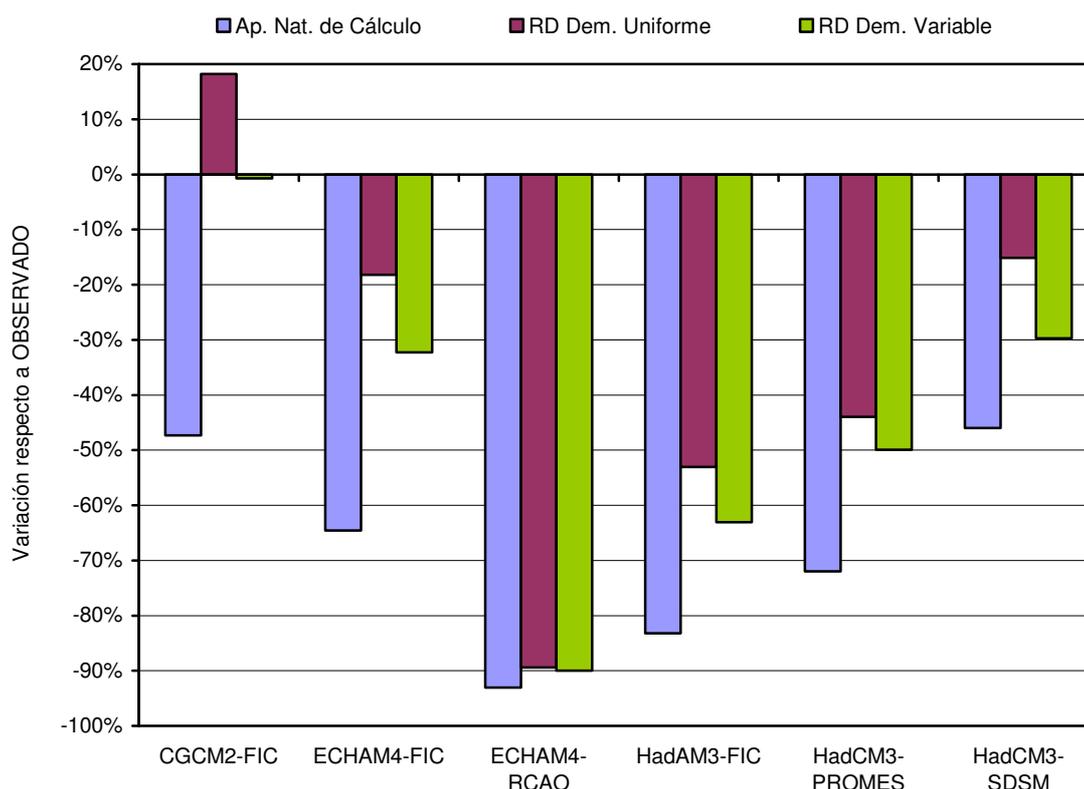


Figura 81. Desviación de las estimaciones de la aportación anual media y el recurso disponible de los diferentes modelos climáticos respecto a los datos observados en la demarcación hidrográfica del Tinto, Odiel y Piedras

El conjunto de los modelos presentan una reducción de la aportación media anual así como del recurso disponible. Siendo la reducción de la aportación mayor, que la reducción del recurso disponible. En general, el RD para demanda variable es el que presenta una reducción mayor para todos los modelos.

En el caso del modelo CGCM2-FIC se produce algo inusitado, un descenso de la aportación natural (-47%) junto con un incremento del recurso disponible en demanda uniforme del 18%. Este comportamiento no se explica a partir del análisis de las series anuales exclusivamente. Observando los gráficos del Anejo 1 es clara la reducción de la aportación media, pero no se explica el incremento del RD, ya que si bien el mínimo anual es prácticamente coincidente en el modelo de cambio climático y en la serie resultante de datos observados, el percentil del 25% es menor en la serie derivada del modelo de cambio climático. Por ello, es necesario analizar la distribución mensual.



4.12.3.2. EVOLUCIÓN DEL RECURSO DISPONIBLE CON RESPECTO AL PERÍODO DE CONTROL PARA LAS DISTINTAS PROYECCIONES

En la Tabla 55 y en la Tabla 56 se muestra, para cada tipo de demanda, la variación del RD respecto al periodo de control (1961-1990), para cada uno de los modelos y periodos estudiados: P2 (2011-2040), P3 (2041-2070) y P4 (2071-2100). Según el grado de variación del RD, la celda aparece en verde (> 0%), naranja (de -20% a 0%) o rojo (< -20%)

Esc	Periodo	CGCM2-FIC	ECHAM4-FIC	HadAM3-FIC	HadCM3-SDSM	HadCM3-PROMES	ECHAM4-RCAO	Media
A2	2011-2040	-10	-41		23			-9
	2041-2070	-8	-65		-25			-33
	2071-2100	-51	-65	-39	-59	-35	-43	-49
B2	2011-2040	-14	-61		-39			-38
	2041-2070	-12	-44		-16			-24
	2071-2100	-18	-46	-48	4	-54	-43	-34

Tabla 55. Variación del recurso disponible (%) para demanda uniforme en cada periodo respecto al período de control en la demarcación hidrográfica del Tinto, Odiel y Piedras.

Esc	Periodo	CGCM2-FIC	ECHAM4-FIC	HadAM3-FIC	HadCM3-SDSM	HadCM3-PROMES	ECHAM4-RCAO	Media
A2	2011-2040	-14	-43		24			-11
	2041-2070	-11	-69		-26			-35
	2071-2100	-55	-67	-34	-58	-38	-52	-51
B2	2011-2040	-10	-64		-9			-28
	2041-2070	-10	-44		-10			-21
	2071-2100	-19	-53	-49	9	-53	-44	-35

Tabla 56. Variación del recurso disponible (%) para demanda variable en cada periodo respecto al período de control en la demarcación hidrográfica del Tinto, Odiel y Piedras.

En la Figura 82 se representan los resultados anteriores junto con la evolución de la aportación media anual.

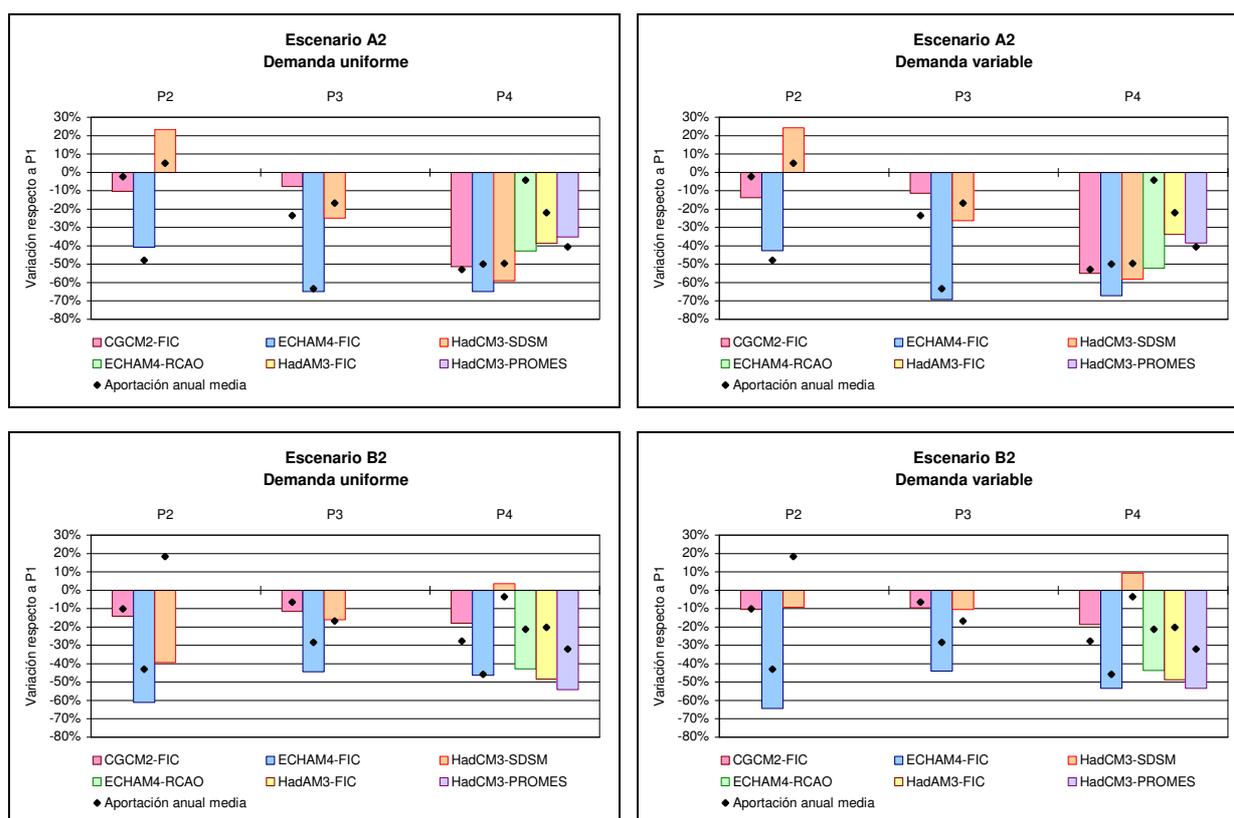


Figura 82. Evolución de la variación del recurso disponible (%) de P2 a P4 respecto al periodo de control (P1) en la demarcación hidrográfica del Tinto, Odiel y Piedras.

En general los porcentajes de reducción del RD para cada modelo, escenario y periodo, son muy similares en demanda variable y en demanda uniforme. La excepción es modelo HadCM3-SDSM en el escenario B2, donde la reducción a corto y medio plazo es mucho menor con demanda variable. Se ha comprobado que la aportación en los meses de no de estiaje es mucho menor en P2 que en P1, mientras que en los meses de estiaje se mantiene prácticamente constante, lo cual puede contribuir a explicar la mayor reducción con demanda uniforme que con demanda variable.

En el escenario A2 la reducción del RD a largo plazo (último periodo) es elevada en todos los modelos (oscila entre el 35% y el 65%). En el resto de periodos el resultado es diferente, según cada modelo. En el escenario A2 tanto con demanda uniforme como variable, hay una tendencia de reducción creciente y sostenida en los tres periodos en los modelos ECHAM4-FIC y HadCM3-SDSM, pero con una evolución muy diferente entre los periodos. En cambio, con el modelo CGCM2-FIC tanto para demanda uniforme como para variable en el p3 hay una mejora con respecto al p2, si bien en el p4 vuelve a empeorar.

En el escenario B2, el RD empeora a corto plazo para mejorar a medio y largo plazo, salvo en el modelo CGCM2-FIC, en el que la reducción del RD se mantiene sensiblemente constante a corto y medio plazo, para aumentar a largo plazo

En general, si bien no se cumple en todos los modelos, los porcentajes de reducción del RD a medio y largo plazo son menores en el escenario B2 que en el A2.

El modelo HadCM3-SDSM en el escenario B2 y período P2, presenta un comportamiento aparentemente anómalo, más destacado con demanda uniforme que con variable. La

aportación media anual se incrementa en un 20% mientras que el RD con demanda variable se reduce en un 40% y con demanda uniforme, en un 10%. El incremento de la aportación se explica claramente con los diagramas de cajas incluidos en el Anejo 1. Sin embargo no sucede lo mismo con la reducción del RD, puesto que la aportación mínima anual es prácticamente coincidente en P1 y P2, los percentiles anuales 25 y 50 son mayores en P2 que en P1 y la distribución temporal de mínimos anuales parece más favorable en P2. Por tanto, es necesario realizar un análisis a nivel mensual. Algo parecido, aunque en menor medida, sucede en el período P4.

4.13. DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA GUADALETE-BARBATE

4.13.1. ELEMENTOS QUE INTEGRAN EL SISTEMA

4.13.1.1. APORTACIONES

En la Figura 83 se localizan los 9 puntos considerados para el cálculo de las aportaciones de la demarcación Guadalete-Barbate. La aportación recogida en dichos puntos supone la aportación total en régimen natural de los cauces que se han tenido en cuenta en el desarrollo del modelo de optimización.

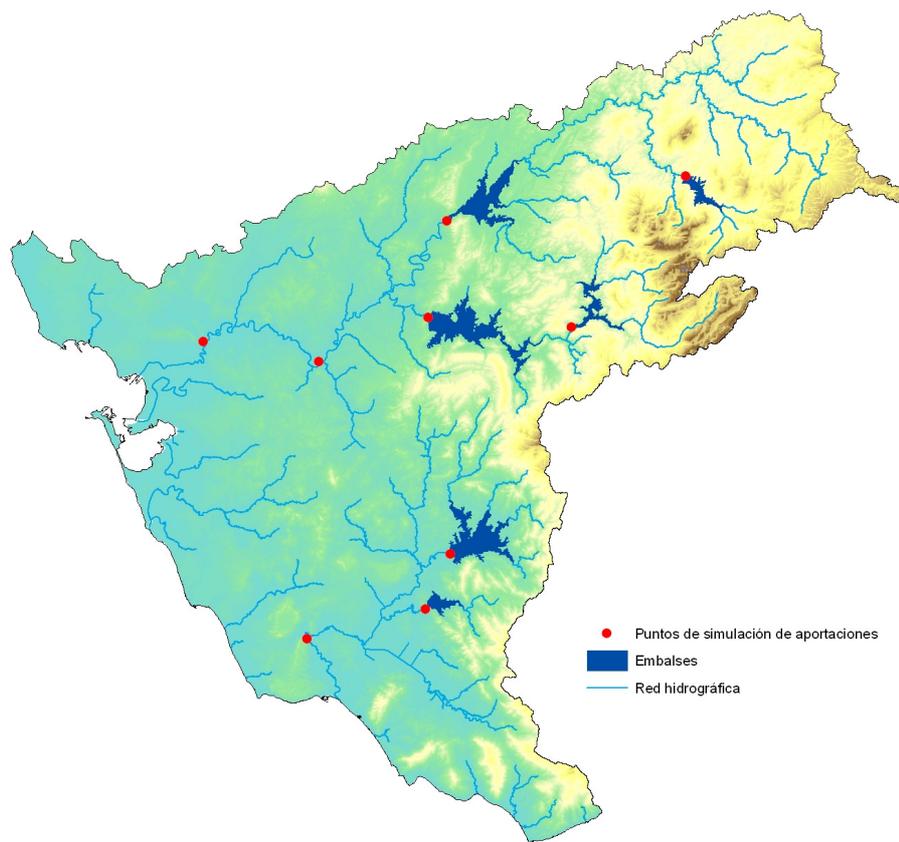


Figura 83. Demarcación hidrográfica Guadalete-Barbate

En la Figura 84 se representan las series anuales de aportaciones de cálculo, obtenidas con el modelo SIMPA, a partir de datos climáticos observados y a partir de los datos climáticos

derivados de los diferentes modelos de cambio climático, para el periodo de control (1961-1990).

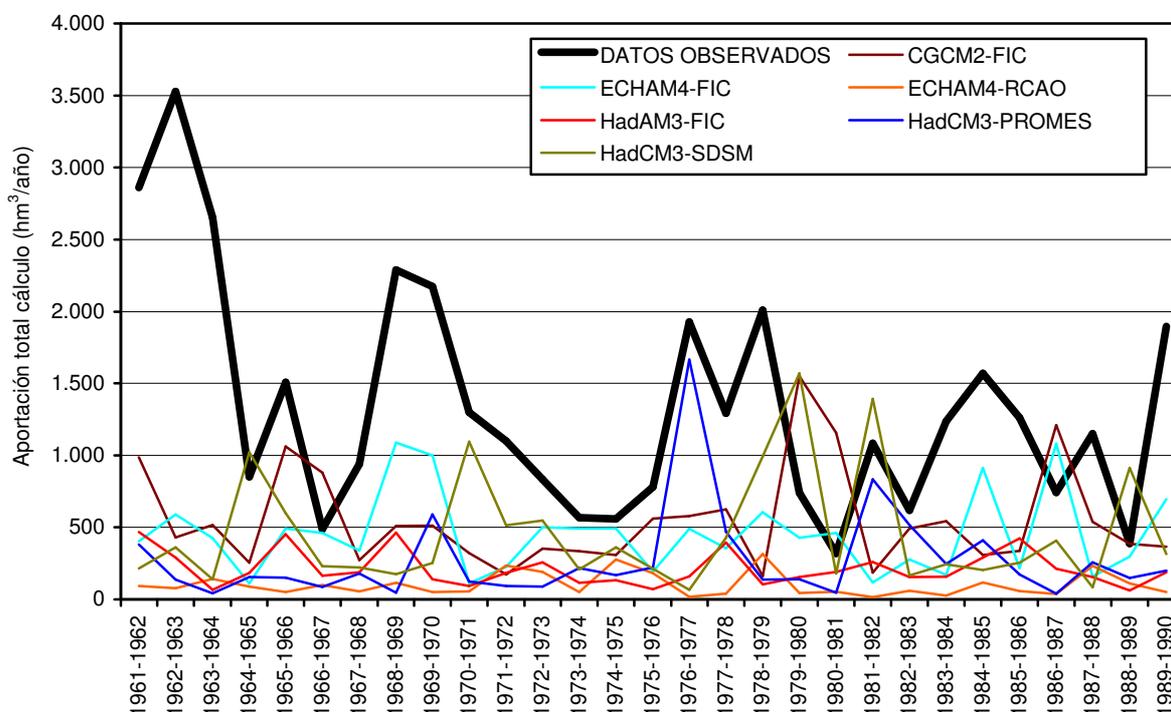


Figura 84. Series de aportación anual en el periodo de control (1961-1990) en la demarcación hidrográfica Guadalete Barbate

Al comparar estas series se observa que de forma general las aportaciones obtenidas mediante los modelos de cambio climático resultan subestimadas respecto de las calculadas a partir de los datos climáticos observados. Como indicación, cabe reflejar que la aportación media anual a partir de estos datos observados es de 1.333 $\text{hm}^3/\text{año}$, mientras que para los modelos de cambio climático ésta varía entre 101 $\text{hm}^3/\text{año}$, para el ECHAM4-RCAO, y 549 $\text{hm}^3/\text{año}$, para el CGCM2-FIC, lo que supone entre el 8% y el 41% de la aportación “observada”.

De la misma manera se observa que ninguna de las series de aportación anual calculadas mediante los diferentes modelos de cambio climático sigue un patrón de distribución temporal similar al obtenido con la serie “observada”, que además presenta una variabilidad mucho más amplia. Destacan las series de aportación anual correspondientes a los modelos ECHAM4-RCAO y HadAM3-FIC por ser las que más se alejan de los valores de la serie “observada”.

Estas conclusiones reflejan una gran incertidumbre en las series de aportaciones en régimen natural obtenidas mediante los modelos de cambio climático. Por ser estas series el dato de partida para el cálculo del recurso disponible, se deberá tener en cuenta esta incertidumbre en dicho cálculo, como más adelante se recoge.

La secuencia temporal de la aportación anual para cada modelo durante los cuatro períodos analizados se recoge en el Anejo 1. En este mismo Anejo también figuran los diagramas de cajas de las series de aportación anual por periodo.



4.13.1.2. DEMANDAS

Según lo indicado en el apartado 3.2.3, para la obtención del recurso disponible se han agrupado todas las demandas de la demarcación, que pueden verse en la Figura 85, en dos demandas colgadas al final de cada una de las cuencas principales que componen la demarcación, la del río Guadalete y la del río Barbate, tal como se observa en la Figura 86.

4.13.1.3. CAUDALES MÍNIMOS

En el caso de la demarcación hidrográfica Guadalete-Barbate, no se han considerado tramos con restricciones ambientales. A pesar de haber sido sometida a información pública la Propuesta de Proyecto de Plan Hidrológico en 2010, el Capítulo 3 de Régimen de caudales ecológicos de la Normativa incluida en dicha Propuesta no recoge ningún valor que defina tales caudales, aunque sí determina que será aguas abajo de los embalses de regulación donde deban cumplirse.

4.13.1.4. ELEMENTOS DE REGULACIÓN

En la demarcación hidrográfica Guadalete-Barbate se han tenido en cuenta 6 embalses que suman una capacidad media de 1.571 hm³ y que aparecen reflejados en la Figura 83.

En la Tabla 57 se recogen los valores de volumen máximo mensual considerado en cada embalse. El volumen mínimo se ha considerado irrelevante en todos ellos.

EMBALSE	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP
Barbate	217	217	217	217	217	217	228	228	228	228	228	228
Bornos	189	160	126	160	160	189	189	189	200	200	200	189
Celemín	42	42	42	42	42	48	53	53	53	53	53	53
Guadalcacín II	794	794	794	794	794	794	794	794	794	794	794	794
Los Hurones	118	109	109	114	114	114	114	114	122	122	122	118
Zahara	212	212	212	212	212	212	212	212	212	212	212	212
TOTAL MENSUAL	1.572	1.534	1.500	1.538	1.538	1.572	1.589	1.589	1.609	1.609	1.609	1.594

Tabla 57. Embalses de la demarcación hidrográfica Guadalete-Barbate. Distribución del volumen máximo mensual (hm³/mes).

4.13.1.5. CONDUCCIONES

En la Tabla 58 se recogen las conducciones consideradas en el esquema de optimización de la demarcación Guadalete-Barbate junto al valor de su capacidad.

Nombre conducción	Qmax (hm ³ /mes)
Conexión entre el E. de Arcos y la Z.R. de Guadalcacín	Sin limitación
Canal de Guadalcacín	Sin limitación
Conexión entre el E. de Guadalcacín y Cadiz	11,6
Conexión entre el E. de Los Hurones y Cadiz	5,7

Nombre conducción	Qmax (hm ³ /mes)
Conexión entre el E. de Barbate y la Z.R. de Barbate	Sin limitación
Conexión entre el E. de Celemín y la Z.R. de Barbate	Sin limitación

Tabla 58. Capacidad máxima de las conducciones consideradas en la demarcación Guadalete-Barbate.

Aquellas conducciones en las que su capacidad no resulta limitante en la estimación del recurso disponible ni su valor se recoge en la Propuesta de Proyecto de Plan Hidrológico, se han considerado de capacidad ilimitada (“Sin limitación”).

4.13.2. ESQUEMA DE CÁLCULO

La Figura 85 muestra el esquema completo de la demarcación hidrográfica Guadalete-Barbate, donde se observan todas las demandas distribuidas. El tramo final de cada uno de los dos cauces simulados corresponde a sendas masas de agua de transición (coloreadas en marrón).

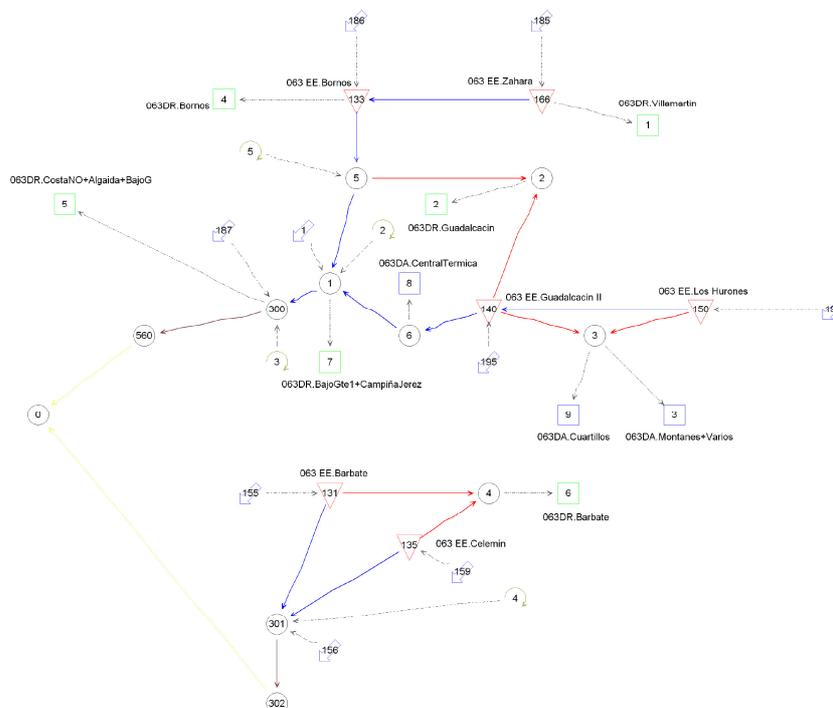


Figura 85. Esquema completo de optimización de la demarcación Guadalete-Barbate. Demanda distribuida

Tal como se ha mencionado en el apartado 3.2.3, para evaluar el recurso disponible, se ha simplificado el esquema de optimización agrupando el total de las demandas en dos demandas situadas al final de cada cuenca, como se recoge en la Figura 86.

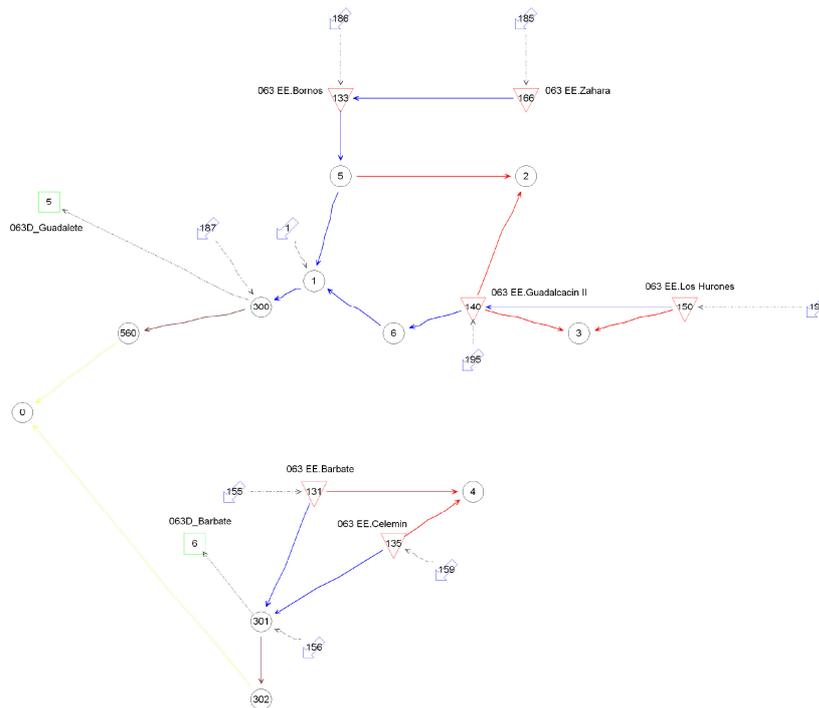


Figura 86. Esquema simplificado de optimización de la demarcación Guadalete-Barbate. Demanda concentrada

4.13.3. RESULTADOS

4.13.3.1. PERÍODO DE CONTROL: COMPARACIÓN ENTRE LOS RESULTADOS OBTENIDOS A PARTIR DE DIFERENTES PROYECCIONES Y DE DATOS OBSERVADOS.

En la Figura 87 se muestran las desviaciones de las estimaciones de la aportación anual media y del recurso disponible (RD), tanto para demanda uniforme como variable, de los diferentes modelos de cambio climático respecto a las estimaciones obtenidas con datos observados (referencia).

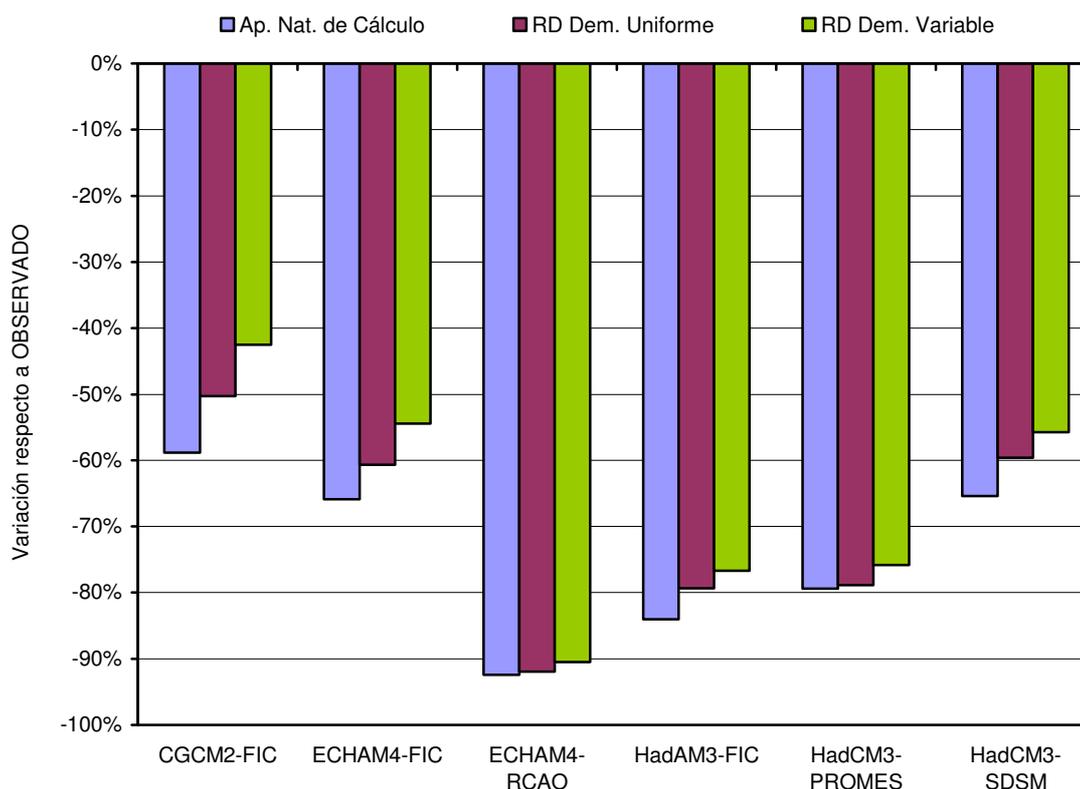


Figura 87. Desviación de las estimaciones de la aportación anual media y el recurso disponible de los diferentes modelos climáticos respecto a los datos observados en la demarcación hidrográfica Guadalete-Barbate

En la aportación media anual estimada a partir de los modelos de cambio climático, se aprecia una disminución de entre el 59% y el 92% respecto a la aportación media “observada”, siendo el modelo ECHAM4-RCAO el que presenta la mayor disminución, seguido por el HadAM3-FIC y el HadCM3-PROMES.

Se observa que estas desviaciones en la estimación del recurso en régimen natural se trasladan a la estimación del RD en una proporción algo inferior, amortiguándose más este traslado cuanto menor es la variación. Este resultado puede ser fruto de la regulación de la cuenca, que consigue suavizar el efecto de pequeñas reducciones de la aportación sobre el recurso disponible, pero que no es capaz de laminar este efecto cuando la aportación disminuye en mayor grado.

En todos los modelos, la estimación del RD para demanda uniforme presenta una reducción mayor que la correspondiente a demanda variable, aunque la diferencia entre ambas no es muy elevada y llega a ser mínima en algunos casos. Este hecho puede deberse al criterio de garantía aplicado a las demandas, puesto que el correspondiente a la demanda uniforme es más exigente que el de la demanda variable.

4.13.3.2. EVOLUCIÓN DEL RECURSO DISPONIBLE CON RESPECTO AL PERÍODO DE CONTROL PARA LAS DISTINTAS PROYECCIONES

En la Tabla 59 y en la Tabla 60 se muestra, para cada tipo de demanda, la variación del RD respecto al periodo de control (1961-1990), para cada uno de los modelos y periodos estudiados: P2 (2011-2040), P3 (2041-2070) y P4 (2071-2100). Según el grado de variación del RD, la celda aparece en verde (> 0%), naranja (de -20% a 0%) o rojo (< -20%).



Esc	Periodo	CGCM2-FIC	ECHAM4-FIC	HadAM3-FIC	HadCM3-SDSM	HadCM3-PROMES	ECHAM4-RCAO	Media
A2	2011-2040	-20	-35		2			-18
	2041-2070	-12	-56		-41			-36
	2071-2100	-46	-62	-33	-58	-45	-64	-51
B2	2011-2040	-16	-41		9			-16
	2041-2070	-10	-35		-2			-22
	2071-2100	-10	-42	-38	-12	-46	-26	-29

Tabla 59. Variación del recurso disponible (%) para demanda uniforme en cada periodo respecto al período de control en la demarcación hidrográfica Guadalete-Barbate.

Esc	Periodo	CGCM2-FIC	ECHAM4-FIC	HadAM3-FIC	HadCM3-SDSM	HadCM3-PROMES	ECHAM4-RCAO	Media
A2	2011-2040	-25	-34		2			-19
	2041-2070	-17	-58		-38			-38
	2071-2100	-47	-65	-33	-55	-45	-69	-52
B2	2011-2040	-23	-42		22			-14
	2041-2070	-11	-37		-20			-23
	2071-2100	-11	-44	-37	-9	-44	-29	-29

Tabla 60. Variación del recurso disponible (%) para demanda variable en cada periodo respecto al período de control en la demarcación hidrográfica Guadalete-Barbate.

En la Figura 88 se representan los resultados anteriores junto con la evolución de la aportación media anual.

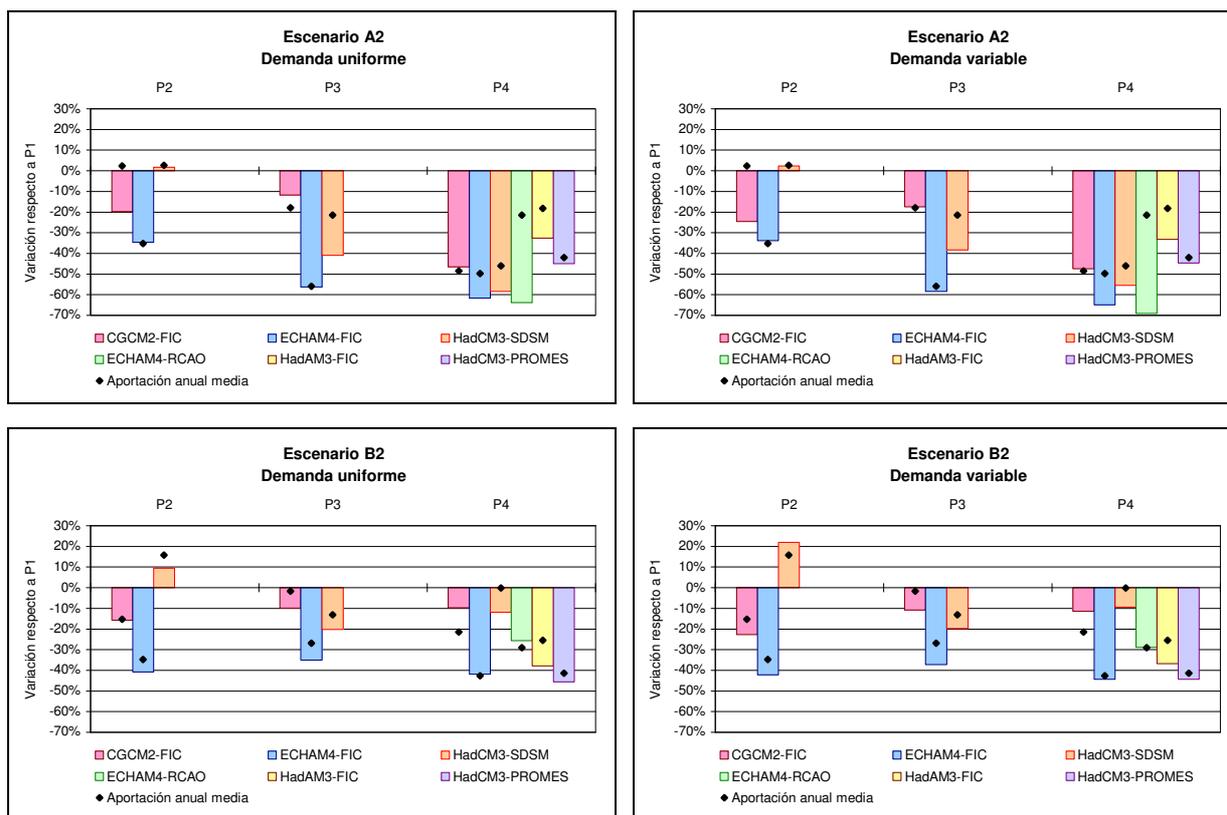


Figura 88. Evolución de la variación del recurso disponible (%) de P2 a P4 respecto al periodo de control (P1) en la demarcación hidrográfica Guadalete-Barbate

La evolución del RD dentro de cada escenario climático (A2/B2) no resulta sensible al tipo de demanda analizada para ninguno de los modelos.

En el escenario A2 se observa una tendencia decreciente del RD a largo plazo, tanto para demanda uniforme como variable en todos los modelos, pero cada uno de ellos presenta una evolución diferente a lo largo de los tres periodos de estudio. Según el modelo CGCM2-FIC, el RD entre P3 aumenta, sin llegar a alcanzar el valor en P1, pero sufre una reducción importante en el siguiente intervalo (P3-P4). Sin embargo, en los modelos ECHAM4-FIC y HadCM3-SDSM el RD presenta una disminución desde P2 a P4, más acusada a medio plazo en el primero modelo y a largo plazo en el segundo.

En el escenario B2 se aprecia disparidad de tendencias entre los distintos modelos desde P2 a P4. Para el modelo CGCM2-FIC el RD sufre un ligero aumento, mientras que para ECHAM4-FIC se mantiene prácticamente constante y para HadCM3-SDSM se reduce, a pesar de presentar un aumento a corto plazo respecto al periodo de control.

Comparando ambos escenarios, tanto para demanda uniforme como variable, se observa que a medio y largo plazo (P3 y P4) el RD disminuye más en el escenario A2 que en el B2, a excepción de los resultados correspondientes a los modelos HadAM3-FIC (RD en B2 ligeramente inferior al RD en A2) y HadCM3-PROMES (idénticos valores para el RD en A2 y B2).

En general, los modelos coinciden en que el escenario B2 resulta más favorable a medio y largo plazo que el escenario A2, así que puede afirmarse que la mayoría de los modelos climáticos reflejan el efecto de las medidas adoptadas en el escenario B2 sobre la disponibilidad del recurso.

La relación entre la aportación y el RD resulta en dos casos aparentemente anómala, puesto que a una aportación anual media igual o ligeramente superior a la de referencia, le corresponde un RD inferior al de partida. En el primero de los casos, correspondiente al modelo CGCM2-FIC, sería necesario un análisis detallado de la distribución intra e interanual de la serie de aportaciones para encontrar justificación a este comportamiento. El segundo caso, relativo al modelo HadCM3-SDSM, se puede explicar, de forma preliminar, examinando los diagramas de cajas de las aportaciones anuales (ANEJO1). En ellos, se aprecia que la aportación mínima en este período es menor que la correspondientes al periodo de control, lo que podría ser la causa del menor RD, además, la existencia de valores extremos (outliers) mayores hacen aumentar la media de la aportación anual que comparamos.

4.14. DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DE LAS CUENCAS MEDITERRÁNEAS ANDALUZAS

4.14.1. ELEMENTOS QUE INTEGRAN EL SISTEMA

4.14.1.1. APORTACIONES

El cálculo de las aportaciones en la demarcación hidrográfica de las Cuencas Mediterráneas Andaluzas se ha realizado en 28 puntos, cuya ubicación se representa en la Figura siguiente. La aportación calculada corresponde a la aportación total en régimen natural de las cuencas consideradas en el modelo de optimización.

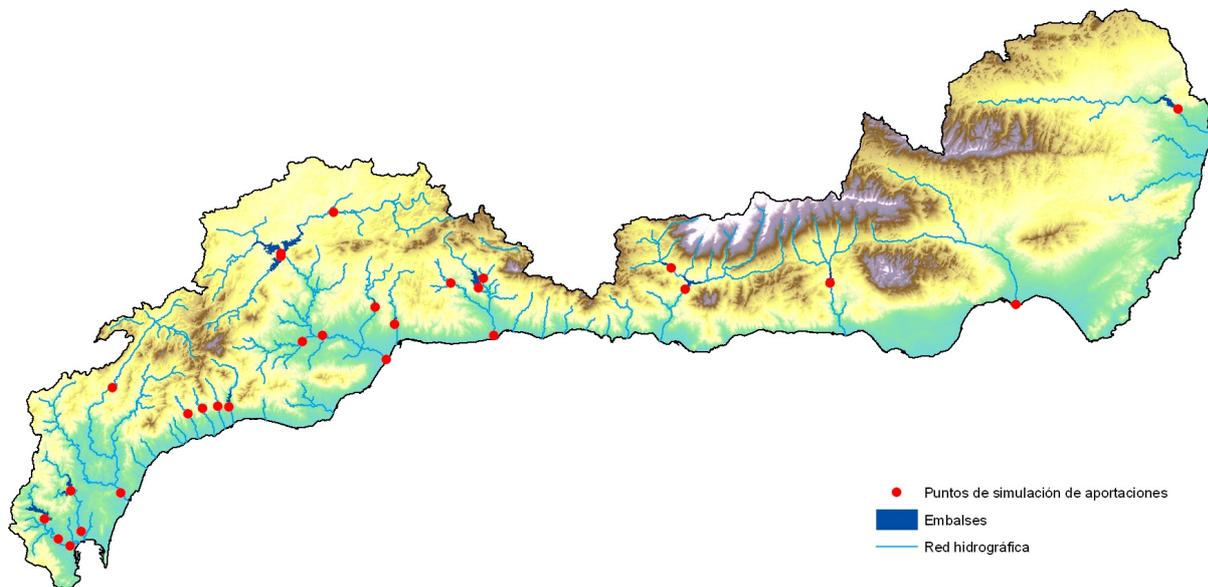


Figura 89. Demarcación hidrográfica de las Cuencas Mediterráneas Andaluzas

Las cuencas consideradas al representar la demarcación de las Cuencas Mediterráneas Andaluzas son las correspondientes a los ríos, de oeste a este, Palmones, Guadarranque, Guadaíro, Guadalmanza, Guadalmina, Guadaíza, Verde de Marbella, Guadalhorce, Guadalmedina, Guaro, Guadalfeo, Adra, Andarax y Almansora.

En la Figura 90 se comparan las series de aportación anual de cálculo, en el periodo de control (1961-1990), obtenidas mediante el modelo SIMPA, correspondientes a los datos climáticos observados y a aquellos calculados mediante los diferentes modelos de cambio climático.

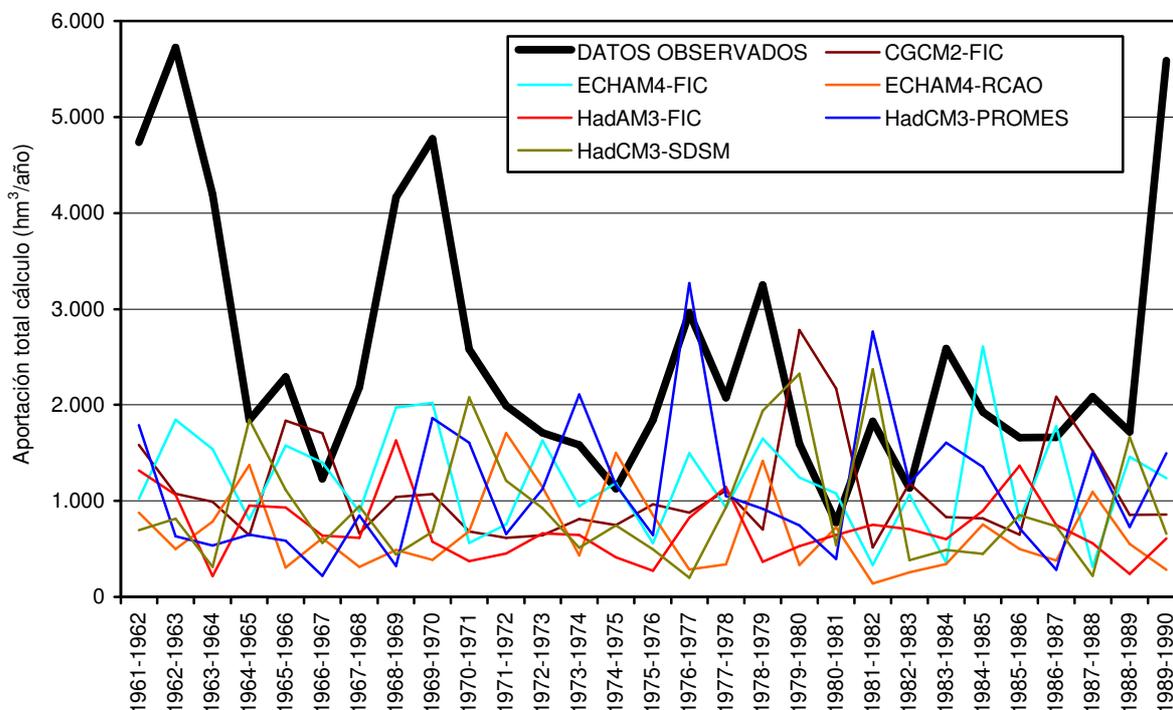


Figura 90. Series de aportación anual en el periodo de control (1961-1990) en la demarcación hidrográfica de las Cuencas Mediterráneas Andaluzas

La comparación de estas series refleja una subestimación generalizada de las aportaciones obtenidas mediante los modelos de cambio climático respecto de las calculadas a partir de los datos climáticos observados. Como indicación, cabe reflejar que la aportación media anual a partir de estos datos observados es de 2.511 hm³/año, mientras que para los modelos de cambio climático ésta varía entre 667 hm³/año, para el ECHAM4-RCAO, y 1.208 hm³/año, para el ECHAM4-FIC.

De la misma manera se observa que ninguna de las series de aportación anual calculadas mediante los diferentes modelos de cambio climático sigue un patrón de distribución temporal similar al obtenido con la serie “observada”.

Estas conclusiones reflejan una gran incertidumbre en las series de aportaciones en régimen natural obtenidas mediante los modelos de cambio climático. Por ser estas series el dato de partida para el cálculo del recurso disponible, se deberá tener en cuenta esta incertidumbre en dicho cálculo, como más adelante se recoge.

La secuencia temporal de la aportación anual para cada modelo durante los cuatro períodos analizados se recoge en el (Anejo 1). En este mismo Anejo también figuran los diagramas de cajas de las series de aportación anual por periodo.

4.14.1.2. DEMANDAS

La demarcación hidrográfica de las Cuencas Mediterráneas Andaluzas está compuesta por una serie de cuencas correspondientes a pequeños cauces que desembocan en el Mediterráneo.



Según lo indicado en el apartado 3.2.3.3º, se han agrupado todas las demandas de la demarcación, que pueden verse en la Figura 91, en 11 demandas, de modo que en el tramo final de cada una de las cuencas que conforman la demarcación cuelga una demanda, que concentra todas las demandas distribuidas en su cuenca, tal como se observa en la Figura 92.

4.14.1.3. CAUDALES MÍNIMOS

En el caso de la demarcación hidrográfica de las Cuencas Mediterráneas Andaluzas, no se han considerado tramos con restricciones ambientales. A pesar de haber sido sometida a información pública la Propuesta de Proyecto de Plan Hidrológico en 2010, el Capítulo 3 de Régimen de caudales ecológicos de la Normativa incluida en dicha Propuesta no recoge ningún valor que defina tales caudales, aunque sí determina los tramos donde deban cumplirse.

4.14.1.4. ELEMENTOS DE REGULACIÓN

En la demarcación hidrográfica de las Cuencas Mediterráneas Andaluzas se han tenido en cuenta 13 embalses que suman una capacidad total de 1.120 hm³ y que aparecen reflejados en la Figura 89.

En la Tabla 61 se recogen los valores de volumen máximo mensual considerado en cada embalse (en el caso de Guadalhorce y Guadalteba, que se han considerado como un solo embalse, se recoge la suma de ambos). El volumen mínimo se ha considerado irrelevante en todos ellos.

EMBALSE	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP
Benínar	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56
Béznar	53	53	53	53	53	53	53	53	53	53	53	53
Casasola	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22
Charco Redondo	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78
La Concepción	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57
Conde de Guadalhorce	63	63	63	63	63	63	63	63	63	63	63	63
Cuevas de Almanzora	160	160	160	160	160	160	160	160	160	160	160	160
Guadalhorce y Guadalteba	265	265	265	265	265	265	265	265	265	265	265	265
Guadarranque	83	83	83	83	83	83	83	83	83	83	83	83
El Limonero	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16
Rules	111	111	111	111	111	111	111	111	111	111	111	111
La Viñuela	157	157	157	157	157	157	157	157	157	157	157	157
TOTAL MENSUAL	1.120	1.120	1.120	1.120	1.120	1.120	1.120	1.120	1.120	1.120	1.120	1.120

Tabla 61. Embalses de la demarcación hidrográfica de las Cuencas Mediterráneas Andaluzas. Distribución del volumen máximo mensual (hm³/mes).

4.14.1.5. CONDUCCIONES

En la Tabla 62 se recogen las conducciones consideradas en el esquema de optimización de la demarcación de las Cuencas Mediterráneas Andaluzas junto al valor de su capacidad.

Nombre conducción	Qmax (hm ³ /mes)
Conexión Benamargosa- La Viñuela	Sin limitación
Conexión E. El Limonero-Málaga	Sin limitación
Conexión E. Casasola-Málaga	Sin limitación
Conexión Azud de Aljaima-Málaga	Sin limitación
Conexión E. Guadalorce-Málaga	Sin limitación
Trasvase Guadairo-Majaceite	78,8

Tabla 62. Capacidad máxima de las conducciones consideradas en la demarcación de las Cuencas Mediterráneas Andaluzas.

Aquellas conducciones en las que su capacidad no resulta limitante en la estimación del recurso disponible ni su valor se recoge en la Propuesta de Proyecto de Plan Hidrológico, se han considerado de capacidad ilimitada (“Sin limitación”).

4.14.2. ESQUEMA DE CÁLCULO

La Figura 91 muestra el esquema completo de la demarcación hidrográfica de las Cuencas Mediterráneas Andaluzas, donde se observan todas las demandas distribuidas.

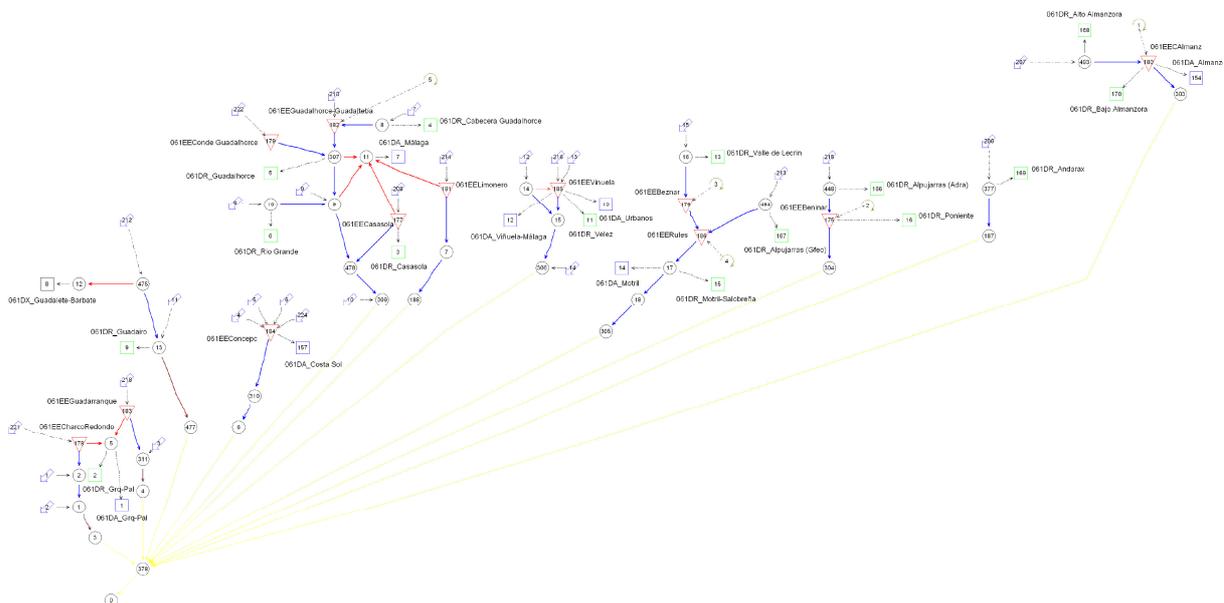


Figura 91. Esquema completo de optimización de la demarcación de las Cuencas Mediterráneas Andaluzas. Demanda distribuida

Como se puede observar en la Figura 91, las aportaciones de los ríos Guadalmanza, Guadalmina y Guadaiza, se han considerado aplicadas directamente en el embalse de La Concepción, en el río Verde de Marbella. Se trata de tres cauces con aportación de escasa entidad, pero cuya conexión con el mencionado embalse permite transportar y regular en él las aportaciones que reciben.

Tal como se ha mencionado en el apartado 3.2.3, para evaluar el recurso disponible, se ha simplificado el esquema de optimización agrupando el total de las demandas en 11 demandas, una única demanda situada al final de cada cuenca, como se recoge en la Figura 92.

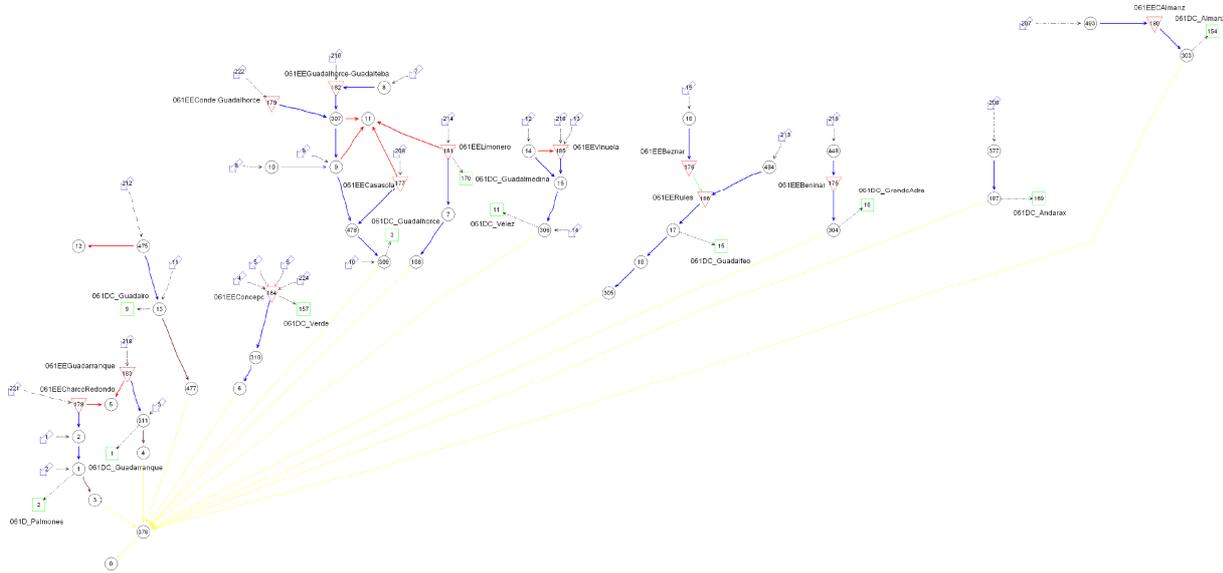


Figura 92. Esquema simplificado de optimización de la demarcación de las Cuencas Mediterráneas Andaluzas. Demanda concentrada

En las figuras de ambos esquemas de optimización, se puede observar que en la demarcación de las Cuencas Mediterráneas Andaluzas los tramos finales de las cuencas más occidentales corresponden a masas de agua de transición (tramos de color marrón) en las que se transforman estos cauces justo antes de desembocar en el Mediterráneo.

Asimismo pueden llamar la atención en estos esquemas el conjunto de tramos ficticios (tramos de color amarillo) que, partiendo del final de cada cauce, hacen confluir toda la red hidrográfica de la demarcación en un único tramo final. En la realidad estos tramos no existen, sin embargo se han definido en los esquemas con el fin de poder evaluar el recurso de la demarcación hidrográfica en conjunto.

4.14.3. RESULTADOS

4.14.3.1. PERÍODO DE CONTROL: COMPARACIÓN ENTRE LOS RESULTADOS OBTENIDOS A PARTIR DE DIFERENTES PROYECCIONES Y DE DATOS OBSERVADOS.

En la Figura 93 se muestran las desviaciones de las estimaciones de la aportación anual media y el recurso disponible (RD), tanto para demanda uniforme como variable, de los diferentes modelos de cambio climático respecto a las estimaciones obtenidas con datos observados (referencia).

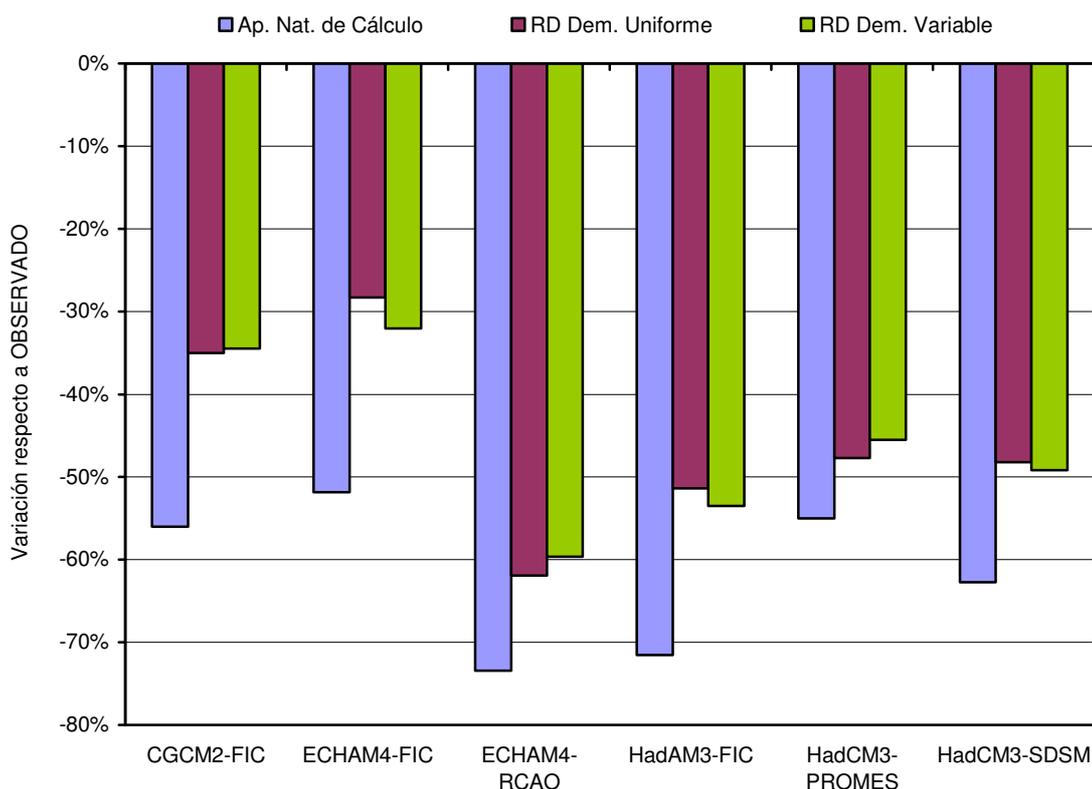


Figura 93. Desviación de las estimaciones de la aportación anual media y el recurso disponible de los diferentes modelos climáticos respecto a los datos observados en la demarcación hidrográfica de las Cuencas Mediterráneas Andaluzas

En la aportación media anual estimada a partir de los modelos de cambio climático, se aprecia una disminución de entre el 52% y el 73% respecto a la aportación media “observada”.

Se observa que estas desviaciones en la estimación del recurso en régimen natural se trasladan a la estimación del RD en una proporción inferior, amortiguándose más este traslado cuanto menor es la variación. Este resultado puede ser fruto de la regulación de la cuenca, que aunque no es muy grande, resulta importante en comparación con el escaso recurso natural que recibe la cuenca.

No existe prácticamente diferencia en la reducción que sufre el RD al considerar demanda uniforme o demanda variable.

4.14.3.2. EVOLUCIÓN DEL RECURSO DISPONIBLE CON RESPECTO AL PERÍODO DE CONTROL PARA LAS DISTINTAS PROYECCIONES

En la Tabla 63 y en la Tabla 64 se muestra, para cada tipo de demanda, la variación del RD respecto al periodo de control (1961-1990), para cada uno de los modelos y periodos estudiados: P2 (2011-2040), P3 (2041-2070) y P4 (2071-2100). Según el grado de variación del RD, la celda aparece en verde (> 0%), naranja (de -20% a 0%) o rojo (< -20%).



Esc	Periodo	CGCM2-FIC	ECHAM4-FIC	HadAM3-FIC	HadCM3-SDSM	HadCM3-PROMES	ECHAM4-RCAO	Media
A2	2011-2040	-4	-26		-9			-13
	2041-2070	-13	-41		-36			-30
	2071-2100	-29	-47	-33	-59	-32	-48	-41
B2	2011-2040	-12	-33		-28			-24
	2041-2070	-4	-31		-23			-19
	2071-2100	-14	-31	-30	-27	-23	-15	-23

Tabla 63. Variación del recurso disponible (%) para demanda uniforme en cada periodo respecto al período de control en la demarcación hidrográfica de las Cuencas Mediterráneas Andaluzas.

Esc	Periodo	CGCM2-FIC	ECHAM4-FIC	HadAM3-FIC	HadCM3-SDSM	HadCM3-PROMES	ECHAM4-RCAO	Media
A2	2011-2040	-4	-20		-10			-11
	2041-2070	-6	-39		-34			-26
	2071-2100	-32	-45	-31	-57	-33	-52	-42
B2	2011-2040	-13	-30		-11			-18
	2041-2070	-7	-28		-24			-20
	2071-2100	-11	-29	-30	-29	-23	-17	-23

Tabla 64. Variación del recurso disponible (%) para demanda variable en cada periodo respecto al período de control en la demarcación hidrográfica de las Cuencas Mediterráneas Andaluzas.

En la Figura 94 se representan los resultados anteriores junto con la evolución de la aportación media anual.

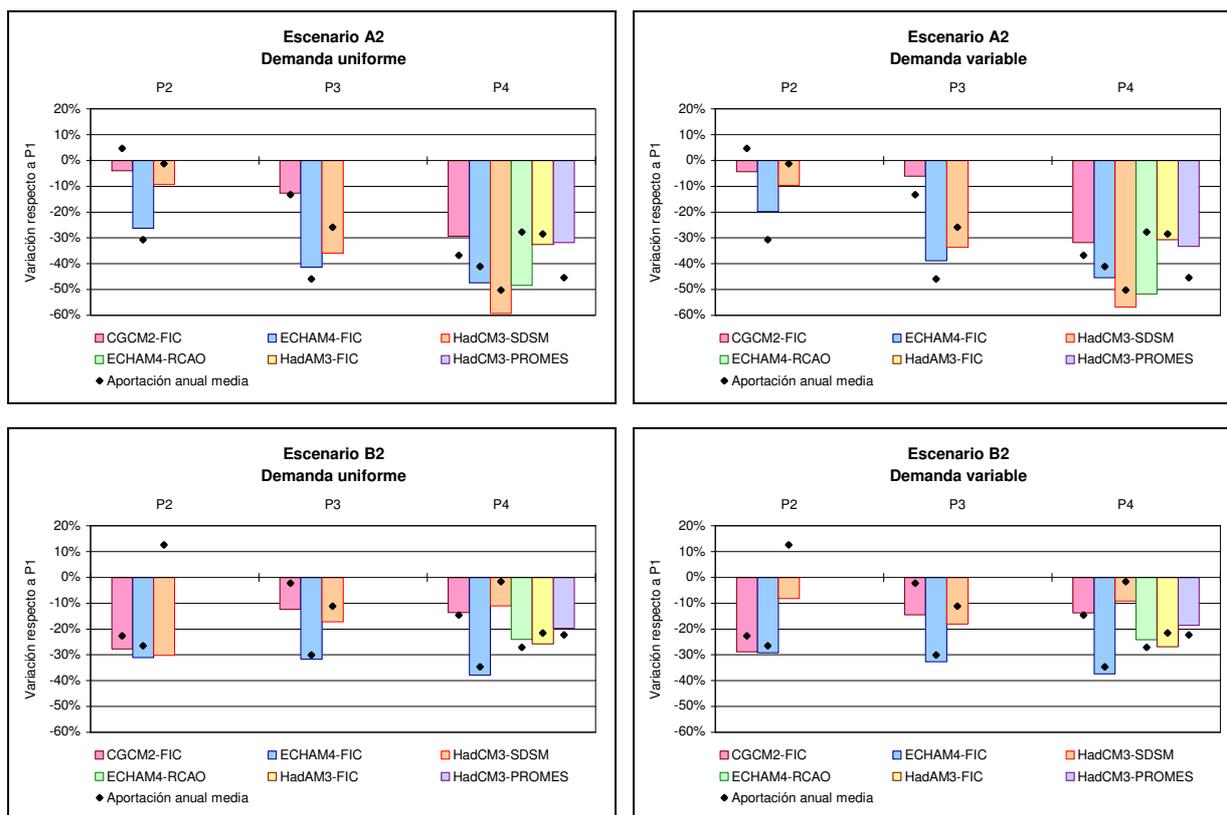


Figura 94. Evolución de la variación del recurso disponible (%) de P2 a P4 respecto al periodo de control (P1) en la demarcación hidrográfica de las Cuencas Mediterráneas Andaluzas

La evolución del RD dentro de cada escenario climático (A2/B2) no resulta sensible al tipo de demanda analizada para ninguno de los modelos.

En el escenario A2 se observa una tendencia decreciente del RD desde P2 a P4, tanto para demanda uniforme como variable en todos los modelos, en general, de forma más o menos uniforme a lo largo del tiempo.

En el escenario B2 se aprecia una estabilidad del RD, tanto para demanda uniforme como variable, entre los periodos P2 y P4, observándose un ligero incremento del RD en P3. Como excepción, el modelo HadCM3-SDSM presenta una reducción continua entre P2 y P4 cuando se trata de demanda variable.

Comparando ambos escenarios, tanto para demanda uniforme como variable, se observa que a largo plazo (P3 y P4) el RD disminuye más en el escenario A2 que en el B2, aunque en el corto plazo (P2) es en el escenario B2 donde se aprecian mayores reducciones. Como excepción, el modelo HadAM3-FIC arroja, contra todo pronóstico, mayores reducciones en el recurso disponible en el escenario B2 que en el A2.

Por tanto, puede afirmarse que hay acuerdo entre los modelos en que a medio y largo plazo es más favorable el escenario B2 que el A2, aunque a corto plazo es más desfavorable, con independencia del tipo de demanda. Es decir, que a medio y largo plazo se observa el efecto sobre la disponibilidad de recurso de las medidas adoptadas en el escenario B2.

En los modelos CGCM2-FIC y HadCM3-SDSM, la relación entre la aportación y el RD resulta en algunos casos aparentemente anómala, puesto que a una aportación anual media igual o incluso mayor que la de referencia, le corresponde un RD inferior al de partida.



Una explicación preliminar de este comportamiento puede obtenerse examinando los diagramas de cajas de las aportaciones anuales (ANEJO1). En ellos, se aprecia que las aportaciones mínimas en estos períodos son menores que las correspondientes al periodo de control, lo que podría ser la causa del menor RD si consideramos que los valores mínimos de la aportación son limitantes para el RD.

Este razonamiento podría resultar válido para los casos del modelo CGCM2-FIC, sin embargo, por la magnitud de la reducción del RD resultante con el modelo HadCM3-SDSM, en este otro caso sería necesario realizar un análisis de la variabilidad intra e interanual de la serie de aportaciones anuales para encontrar una explicación concluyente para esta anomalía.

4.15. DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DE LAS CUENCAS INTERNAS DE CATALUÑA

4.15.1. ELEMENTOS QUE INTEGRAN EL SISTEMA

4.15.1.1. APORTACIONES

En la Figura 95 se reflejan los 18 puntos considerados para el cálculo de las aportaciones de la demarcación de las Cuencas Internas de Cataluña, que representan el 100% de la aportación total de las cuencas consideradas en el modelo. Sólo se han considerado los ríos cuya aportación anual media en la serie de aportaciones de 1940-2005 sea mayor o igual a 50 hm³, como se ha indicado en el apartado 3.2.2, que son: La Muga, El Fluvià, El Ter, El Daró, La Tordera, El Besòs, El Llobregat y El Francolí.

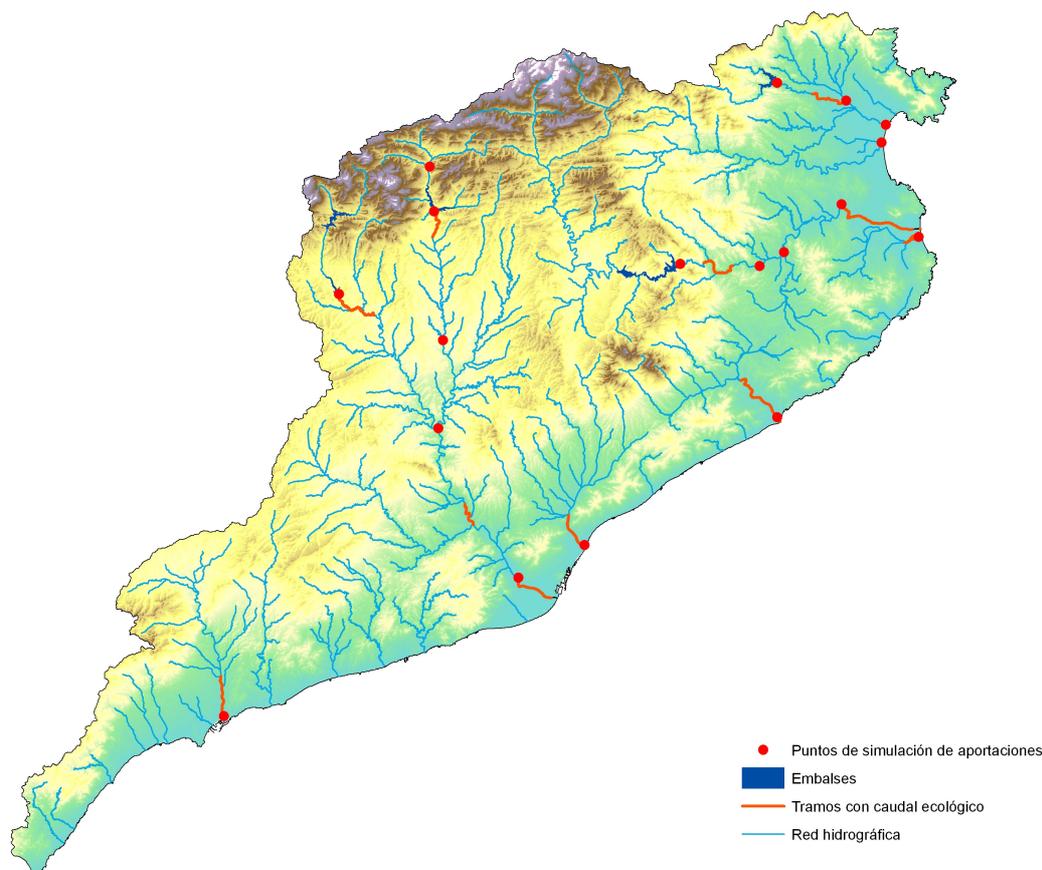


Figura 95. Demarcación hidrográfica de las Cuencas Internas de Cataluña

En la Figura 96 se muestran las series anuales de aportaciones de cálculo para el periodo de control, obtenidas con el modelo SIMPA, a partir de datos climáticos derivados de los diferentes modelos de cambio climático y a partir de datos climáticos observados. Cada serie se obtiene con la suma de las series de aportaciones anuales de los ríos considerados en el modelo.

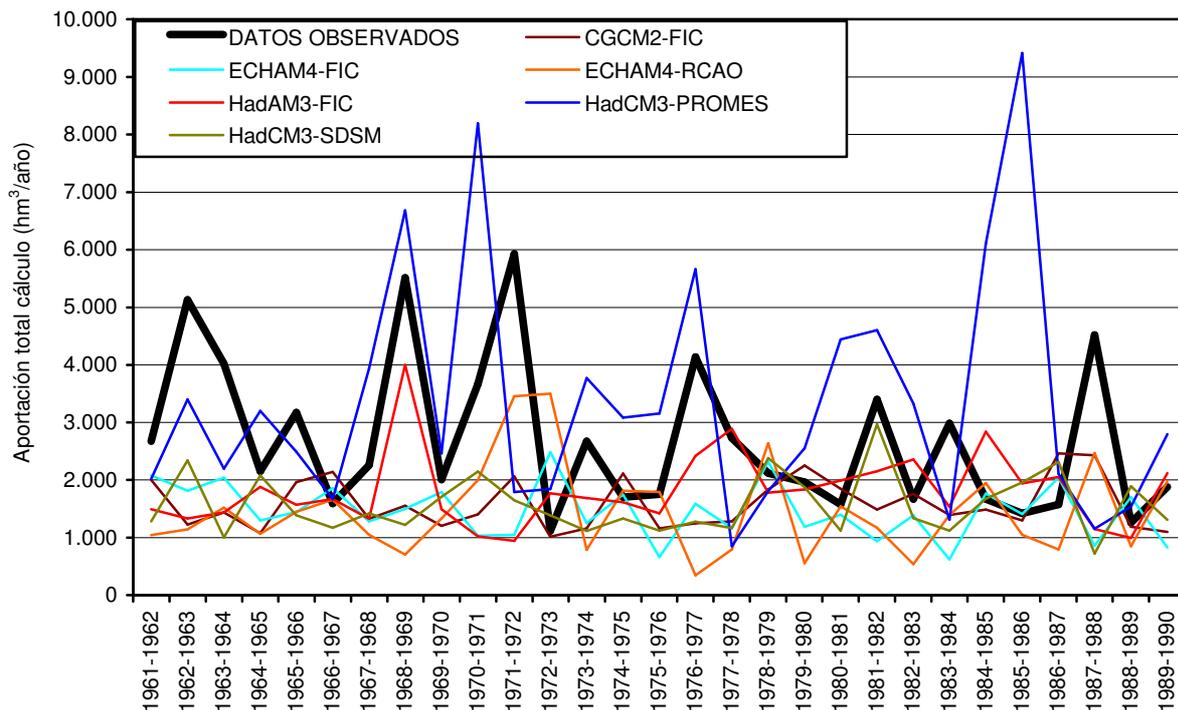


Figura 96. Series de aportación anual en el periodo de control (1961-1990) en la demarcación hidrográfica de las Cuencas Internas de Cataluña

Se observa una gran disparidad de comportamientos de los modelos climáticos respecto a la serie “observada”. En cuanto a magnitud, la mayoría de los modelos subestiman los valores observados, excepto el modelo HadCM3-PROMES, que en la mayoría de máximos relativos los sobrestima. A título indicativo, señalar que el valor anual medio de la serie de aportaciones con datos observados es 2.700 hm³, mientras que el rango de valores para cinco modelos climáticos, exceptuando el modelo HadCM3-PROMES, está comprendido entre 1.460 hm³ y 1.800 hm³. Para el modelo HadCM3-PROMES este mismo valor es 3.360 hm³. En cuanto a variabilidad parece que los modelos HadCM3-PROMES y HadCM3-SDSM se ajustan mejor.

Esta incertidumbre en los datos de partida va a trasladarse con toda seguridad al cálculo del RD.

En el Anejo 1 se muestra la evolución temporal de las aportaciones anuales de cada uno de los modelos a lo largo de los cuatro periodos de estudio. En este mismo anejo también figuran los diagramas de cajas de las series de aportaciones anuales.

4.15.1.2. DEMANDAS

El recurso disponible (RD) se ha calculado por separado para cada río independiente que conforma la demarcación, colocando al final del mismo una demanda que representa al conjunto de todas las demandas de la subcuenca. El RD total de la demarcación es la suma de los RD de las subcuencas consideradas en la demarcación. En los ríos en que existen restricciones ambientales en la desembocadura, se ha colocado la demanda en el nudo anterior al tramo afectado para asegurarnos que dichas restricciones no se vean afectadas por el cálculo de RD i que efectivamente llega al mar el caudal mínimo exigido. Los ríos en que existen restricciones ambientales en desembocadura son: Ter, Daró, Tordera, Besós, Llobregat y Francolí (ver Figura 95). En la Figura 98 se puede ver la configuración del esquema utilizado en la simulación.

4.15.1.3. CAUDALES MÍNIMOS

Los tramos donde se han impuesto restricciones ambientales son aquellos que se han considerado más destacables para el cálculo del recurso disponible, según el Plan de Cuenca y la información recibida de la propia Agència Catalana de l'Aigua (comunicación oral).

En la Figura 95 se puede consultar la ubicación de cada tramo y en la Tabla 65 se recoge la modulación anual de los caudales mínimos según la Normativa del Plan de Cuenca (m³/s).

Código masa	Código esquema	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP
5020	CE.Fra01	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,20	0,16	0,16	0,16
10010	CE.Llo03	1,10	1,10	1,10	0,88	0,88	1,10	1,65	1,65	1,65	1,10	1,10	1,10
10050	CE.Car01	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94	1,22	1,22	0,94	0,75	0,75	0,75
10083	CE.Llo06	3,30	3,30	3,30	3,30	3,30	3,30	4,29	4,29	3,3	2,64	2,64	2,64
10114	CE.Llo07/08	4,30	4,30	4,30	4,30	4,30	4,30	5,59	5,59	4,3	3,44	3,44	3,44
11029	CE.Bes01	0,71	0,71	0,85	0,85	0,85	0,85	0,71	0,71	0,71	0,57	0,57	0,57
14028	CE.Tor01	0,45	0,45	0,54	0,54	0,54	0,54	0,54	0,54	0,45	0,36	0,36	0,36
19005	CE.Dar01	0,11	0,11	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,11	0,09	0,09	0,09
20038	CE.Ter02	3,70	3,70	3,70	3,70	3,70	3,70	4,81	4,81	3,70	2,96	2,96	2,96
20059	CE.Ter05	5,50	5,50	5,50	5,50	5,50	5,50	7,15	7,15	5,50	4,40	4,40	4,40

Tabla 65. Distribución de caudales mínimos considerados (m³/s) en la demarcación hidrográfica de las Cuencas Internas de Cataluña.

4.15.1.4. ELEMENTOS DE REGULACIÓN

En la demarcación de las Cuencas Internas de Cataluña se han considerado 6 embalses, que representan una capacidad media de 617 hm³, y se muestran en la Figura 95. A continuación, en la Tabla 66, se indica la modulación de los volúmenes máximos de embalse (o grupos de embalse). El volumen mínimo de los embalses se ha considerado despreciable, excepto el de Sant Ponç, por razones de prevención de incendios en verano (Plan de Cuenca 2011).

EMBALSE	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP
La Baells	101	101	104	106	106	106	105	105	103	101	101	101
Boadella	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57
Llosa del Cavall y Sant Ponç	98	98	101	103	103	103	102	102	100	98	98	98
Sau y Susqueda	332	332	347	362	362	365	369	369	364	360	360	346
TOTAL MENSUAL	588	588	608	628	628	631	633	633	625	617	617	602

Tabla 66. Embalses de la demarcación hidrográfica de las Cuencas Internas de Cataluña. Distribución del volumen máximo mensual (hm³/mes).

4.15.1.5. CONDUCCIONES

A pesar de que no se ha considerado ninguna conducción para el cálculo del RD en esta demarcación, a continuación se indican las capacidades de las conducciones más destacables existentes en la demarcación de las Cuencas Internas de Cataluña.

Nombre conducción	Qmax (hm ³ /mes)
ATLL hasta Cardedeu	19,4
ATLL Cardedeu-Trinitat	15,54
Toma ETAP Abrera	7,5
Toma ETAP S.J. Despí	12,95

Tabla 67. Capacidad máxima de las conducciones consideradas en la demarcación de las Cuencas Internas de Cataluña.

4.15.2. ESQUEMA DE CÁLCULO

En la figura siguiente se muestra el esquema completo de la demarcación de las Cuencas Internas de Cataluña donde aparecen todas las demandas distribuidas.

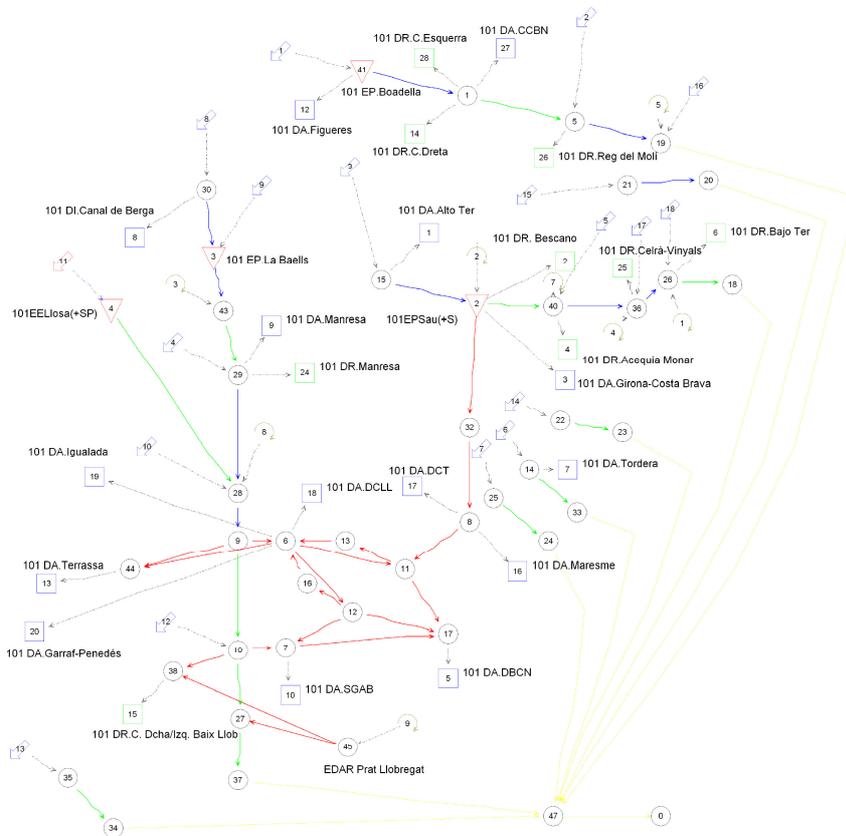


Figura 97. Esquema completo de optimización de la demarcación de las Cuencas Internas de Cataluña. Demanda distribuida

Para el cálculo del recurso disponible, según se indica en el apartado 3.2.3 se ha sustituido el conjunto de demandas por una única demanda al final de cada río, como se muestra en la figura adjunta.

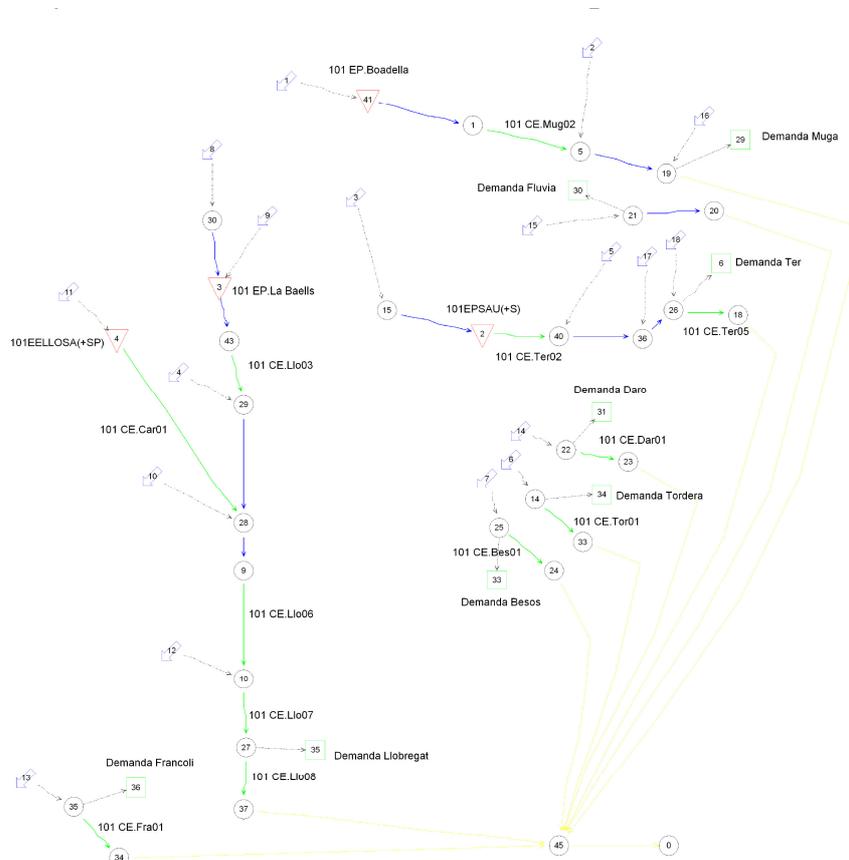


Figura 98. Esquema simplificado de optimización de la demarcación de las Cuencas Internas de Cataluña. Demanda concentrada

4.15.3. RESULTADOS

4.15.3.1. PERIODO DE CONTROL: COMPARACIÓN ENTRE LOS RESULTADOS OBTENIDOS A PARTIR DE DIFERENTES PROYECCIONES Y DE DATOS OBSERVADOS

En la Figura 99 se muestran las desviaciones de las estimaciones de la aportación anual media y el RD, tanto para demanda uniforme como variable, de los diferentes modelos de cambio climático respecto a las estimaciones obtenidas con datos observados (referencia).

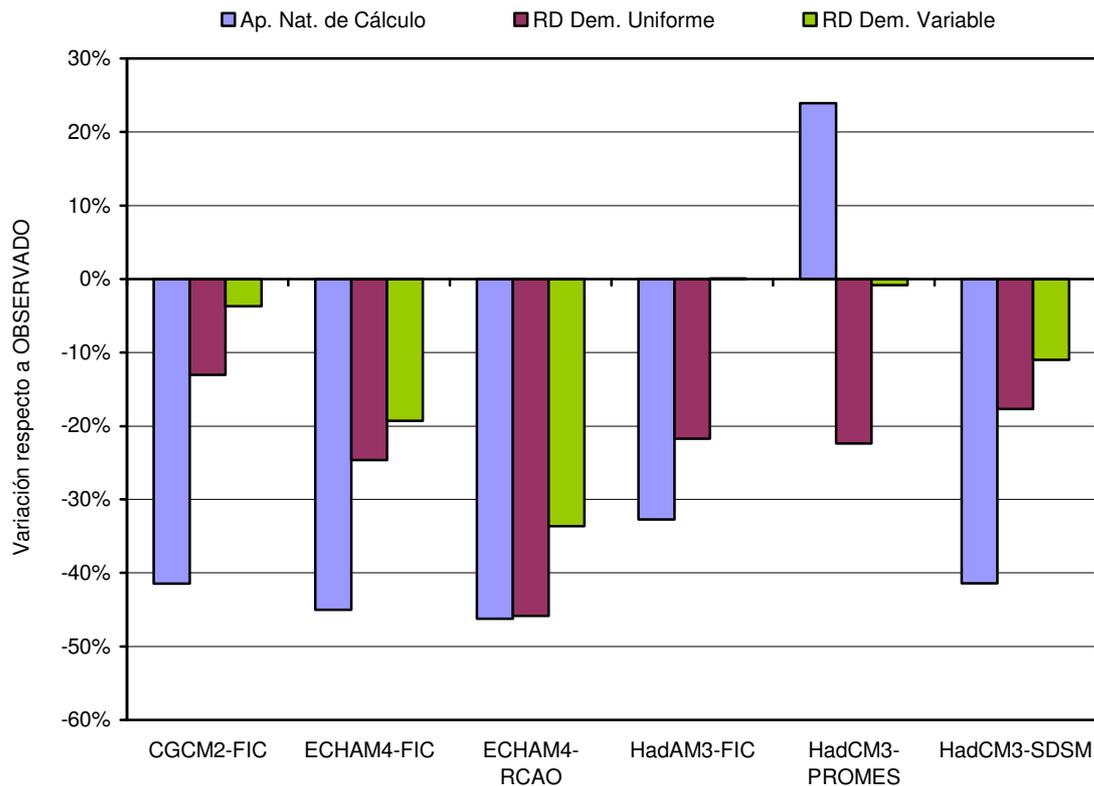


Figura 99. Desviación de las estimaciones de la aportación anual media y el recurso disponible de los diferentes modelos climáticos respecto a los datos observados en la demarcación hidrográfica de las Cuencas Internas de Cataluña.

Destaca el incremento en más de un 20% de la aportación anual media del modelo HadCM3-PROMES respecto a la serie “observada”, en contra de la tendencia general del resto de modelos, que experimentan disminuciones entre un 30% y un 45%. A pesar del aparente mayor volumen de aportaciones, el modelo HadCM3-PROMES obtiene un RD similar al resto de los modelos evaluados, que registran disminuciones respecto a “observado” entre un 15% y un 45% para demanda uniforme y entre el 0% y un 35% para demanda variable. Esto es debido a que el valor medio de las aportaciones anuales del modelo HadCM3-PROMES se ve desplazado por los valores extremos de la serie (ver Figura 96 y diagrama de cajas del ANEJO 1).

El modelo que obtiene menor RD, tanto para demanda uniforme como variable, es el ECHAM4-RCAO, que corresponde con el modelo que presenta una mayor disminución de la aportación anual media.

El RD para demanda variable sufre en todos los casos menor variación que para demanda uniforme y puede ser debido a unas condiciones de garantía más relajadas.

4.15.3.2. EVOLUCIÓN DEL RECURSO DISPONIBLE CON RESPECTO AL PERÍODO DE CONTROL PARA LAS DISTINTAS PROYECCIONES

En la Tabla 68 y en la Tabla 69 se muestra, para cada tipo de demanda, la variación del RD respecto al periodo de control (1961-1990), para cada uno de los modelos y periodos estudiados: P2 (2011-2040), P3 (2041-2070) y P4 (2071-2100). Según el grado de variación del RD, la celda aparece en verde (> 0%), naranja (de -20% a 0%) o rojo (< -20%).

Escenario	Periodo	CGCM2-FIC	ECHAM4-FIC	HadAM3-FIC	HadCM3-SDSM	HadCM3-PROMES	ECHAM4-RCAO	Media
A2	2011-2040	5	-1		-7			-1
	2041-2070	-5	-11		-15			-10
	2071-2100	-9	-7	14	-31	-35	-43	-19
B2	2011-2040	-9	-8		-26			-14
	2041-2070	-5	1		-5			-3
	2071-2100	-13	8	6	-10	-30	-8	-8

Tabla 68. Variación del recurso disponible (%) para demanda uniforme en cada periodo respecto al período de control en la demarcación hidrográfica de las Cuencas Internas de Cataluña.

Escenario	Periodo	CGCM2-FIC	ECHAM4-FIC	HadAM3-FIC	HadCM3-SDSM	HadCM3-PROMES	ECHAM4-RCAO	Media
A2	2011-2040	6	18		-8			5
	2041-2070	-3	18		-16			0
	2071-2100	-9	27	-3	-29	-38	-54	-18
B2	2011-2040	-7	7		-10			-3
	2041-2070	-2	15		-13			0
	2071-2100	-2	18	-7	-14	-43	-26	-12

Tabla 69. Variación del recurso disponible (%) para demanda variable en cada periodo respecto al período de control en la demarcación hidrográfica de las Cuencas Internas de Cataluña.

En la Figura 100 se presentan los resultados anteriores de forma gráfica, junto con la variación de la aportación anual media.

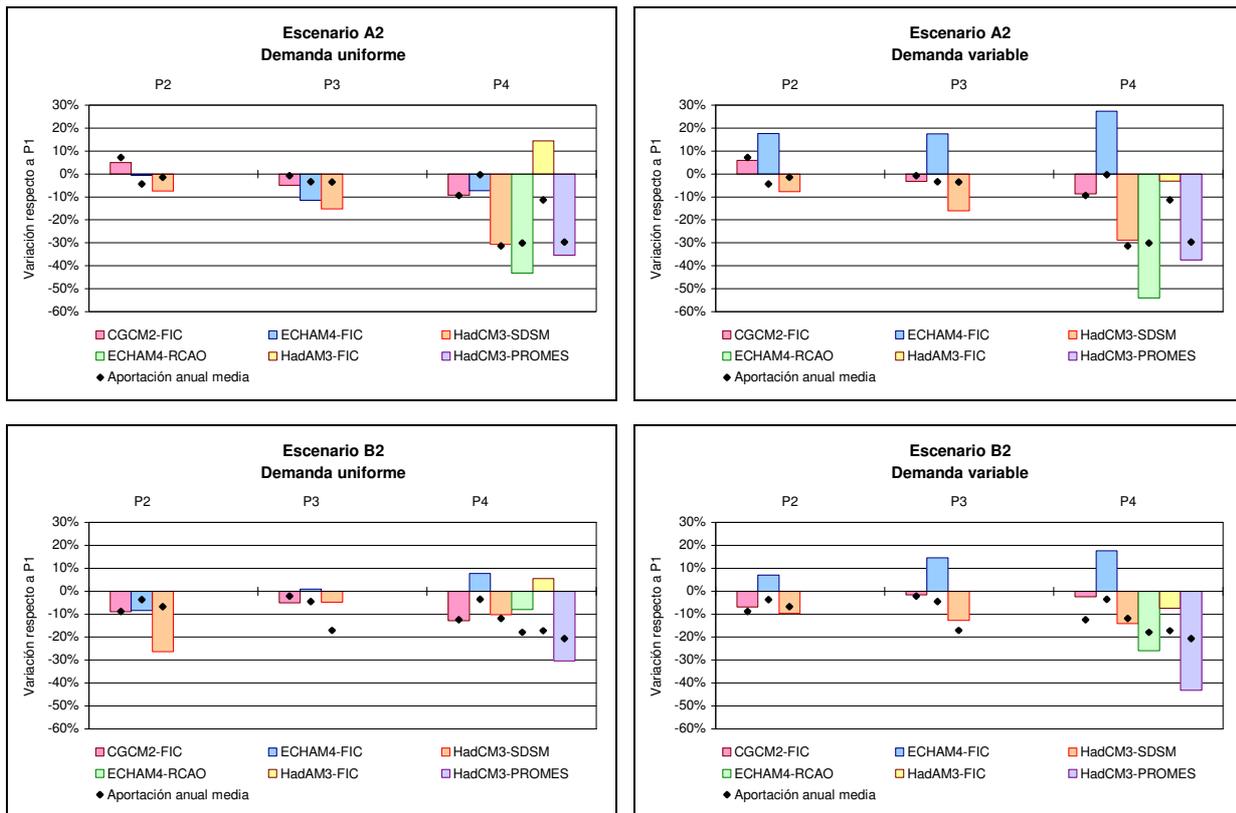


Figura 100. Evolución de la variación del recurso disponible (%) de P2 a P4 respecto al periodo de control (P1) en la demarcación hidrográfica de las Cuencas Internas de Cataluña.

En el escenario A2 se aprecian diferencias entre tipos de demanda en los modelos ECHAM4-FIC y HadAM3-FIC. El patrón que sigue la variación del RD en el modelo ECHAM4-FIC para demanda variable es un incremento sostenido desde P2 a P4, y una reducción cuando es uniforme. Una de las razones que puede motivar estas diferencias es el hecho que en demanda variable los criterios de garantía son mucho más relajados que para uniforme. Otro factor a tener en cuenta es la distribución de las aportaciones mensuales a lo largo del año. Con demanda variable se requiere mucha agua durante la época de riego (verano) y poca en el resto del año. Si las aportaciones mínimas, que condicionan el RD, suceden fuera del periodo de riego, el RD para demanda variable es más difícil que se vea afectado, pero en cambio a la demanda uniforme sí le afecta, pues las necesidades son constantes durante todo el año y en invierno son superiores a la demanda variable. En el caso que el patrón del RD suceda al revés, como por ejemplo con el modelo HadAM3-FIC, es decir que experimente incrementos en demanda uniforme y reducciones en demanda variable, es el caso contrario, y puede ser que sea debido a que las aportaciones mínimas suceden en verano, cuando la demanda variable es considerablemente superior a la demanda uniforme, y por tanto el RD para demanda variable se vea claramente más afectado. El hecho que para un mismo escenario climático haya disparidad de comportamientos entre modelos en relación al tipo de demanda, deja patente de nuevo la gran incertidumbre existente entre los modelos.

En el escenario B2 las diferencias entre tipos de demanda son generalizadas para todos los modelos.

Un dato a destacar es la estabilidad del RD en el tiempo con el modelo CGCM2-FIC, para ambos tipos de demanda y ambos escenarios climáticos, con una variación máxima del 13% respecto a P1 (en P4, DU y escenario B2).

La tendencia del RD en el tiempo no es clara en el escenario A2, puesto que según los modelos CGCM2-FIC y HadCM3-SDSM se reduce progresivamente desde P2 a P4, pero con el modelo ECHAM4-FIC o bien se recupera en P4 o bien tiene una tendencia creciente, según el tipo de demanda.

En el escenario B2, de nuevo los modelos CGCM2-FIC y HadCM3-SDSM van a la par, con una reducción del RD en P2 y una recuperación en P3 y P4, pero sin llegar a los niveles del periodo de control. Mientras que el modelo ECHAM4-FIC tiene una tendencia creciente del RD desde P2 a P4.

Lo sorprendente de estos resultados es que la tendencia creciente del RD con el modelo ECHAM4-FIC para demanda variable tiene lugar sin un incremento aparente en la magnitud de las aportaciones. Si observamos los diagramas de cajas del ANEJO1, se ve que el rango de valores de las aportaciones en los tres periodos futuros es similar al de P1. Las diferencias son imperceptibles a escala anual. Sin embargo, sí se aprecia una mayor aportación mínima en P2, P3 y P4 que en P1, con lo que se podría explicar el mayor RD en estos periodos. El hecho de que no ocurra lo mismo con demanda uniforme podría ser debido, de nuevo, a la distribución temporal de las aportaciones mínimas, como se ha mencionado anteriormente.

Comparando los escenarios A2 y B2, se aprecia que en B2 existe una mejora del RD a medio plazo (P3) pero sobretodo a largo plazo (P4) en la mayoría de modelos.

4.15.3.3. EFECTO DE LAS RESTRICCIONES AMBIENTALES

Sólo se ha estudiado el efecto de las restricciones ambientales sobre el RD en el periodo de control, tal y como se ha indicado en el apartado 3.2.5.2. En la Figura 101 se muestra la reducción del RD en P1 teniendo en cuenta las restricciones ambientales respecto a no tenerlas en cuenta.

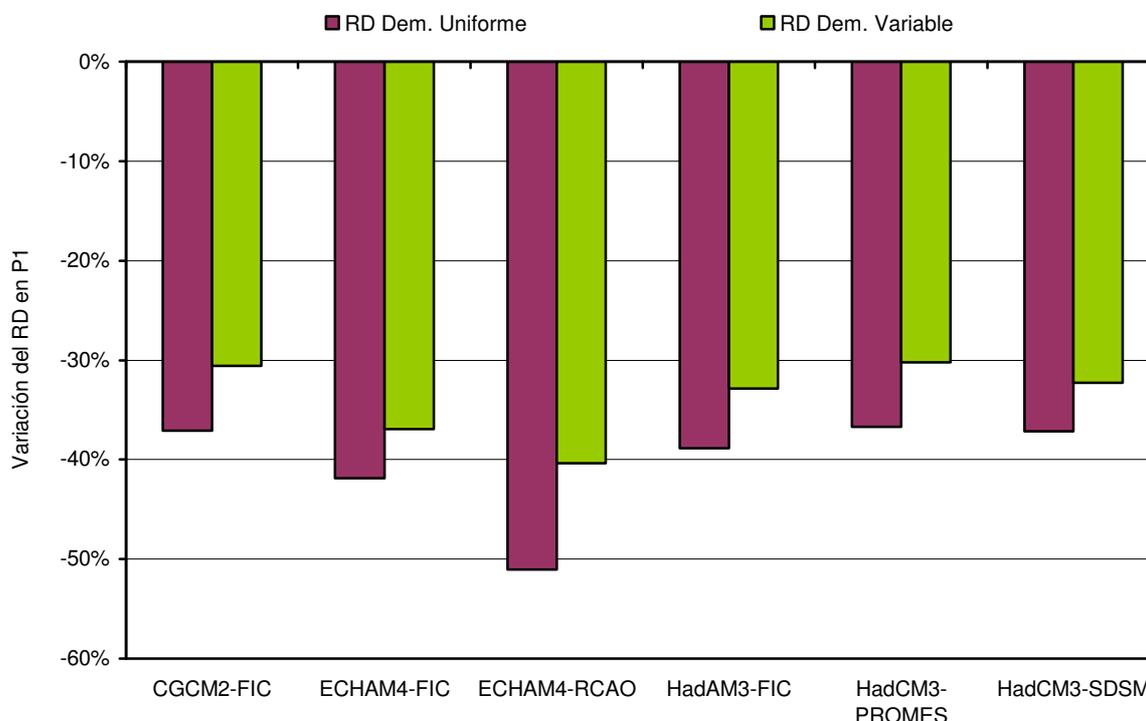


Figura 101. Variación del recurso disponible en el periodo de control debido a restricciones ambientales en la demarcación hidrográfica de las Cuencas Internas de Cataluña.



Existe un claro efecto de las restricciones ambientales sobre el máximo recurso disponible (RD) en la demarcación de las Cuencas Internas de Cataluña, con unas reducciones que oscilan entre el 37% y el 51% con demanda uniforme y entre el 30% y el 40% con demanda variable. Es posible que el hecho que haya tramos ecológicos en desembocadura condicione de forma específica cualquier incremento del RD, puesto que en estos casos no actúa la capacidad de regulación de la cuenca.

5. RESUMEN Y CONCLUSIONES

En las tablas siguientes se resumen los resultados del estudio. En ellas figura la variación del recurso disponible con respecto al período de control calculado para cada demarcación, proyección climática, período y modulación de demanda, así como una media por demarcación, proyección y período. Se han incluido también las cifras equivalentes para el conjunto de la España peninsular.

		Escenario de Emisiones A2						Escenario de Emisiones B2							
		CGCM2-FIC	ECHAM4--FIC	HadAM3-FIC	HadCM3--SDSM	HadCM3-PROMES	ECHAM4-RCAO	Media	CGCM2-FIC	ECHAM4--FIC	HadAM3-FIC	HadCM3--SDSM	HadCM3-PROMES	ECHAM4-RCAO	Media
España peninsular	2011-2040	-13	-28		-7			-16	-10	-26		-28			-21
	2041-2070	-12	-36		-20			-23	-11	-30		-16			-19
	2071-2100	-25	-40	-13	-39	-38	-46	-34	-9	-33	-20	-7	-29	-20	-20
Cantábrico Oriental	2011-2040	-8	-24		-21			-18	-6	-16		-24			-15
	2041-2070	-11	-34		-33			-26	-12	-33		-40			-28
	2071-2100	-16	-50	2	-59	-41	-56	-37	-1	-39	-1	-37	-27	-33	-23
Cantábrico Occidental	2011-2040	-19	-35		-26			-27	-5	-25		-25			-18
	2041-2070	-20	-38		-33			-30	-20	-36		-34			-30
	2071-2100	-20	-48	-10	-48	-47	-40	-36	-10	-42	-14	-33	-32	-23	-26
Galicia-Costa	2011-2040	-10	-30		-11			-17	-2	-10		-25			-12
	2041-2070	-14	-37		-21			-24	-6	-34		-22			-21
	2071-2100	-21	-42	-13	-29	-50	-27	-30	-7	-40	-18	-24	-11	-11	-19
Miño-Sil	2011-2040	-8	-29		5			-11	-2	-5		-16			-8
	2041-2070	-11	-28		-11			-17	-13	-37		-9			-20
	2071-2100	-17	-34	-17	-20	-35	-34	-26	-8	-33	-23	-7	0	-10	-14
Duero	2011-2040	-15	-22		-13			-17	-9	-27		-41			-26
	2041-2070	-10	-37		-19			-22	-11	-30		-21			-21
	2071-2100	-28	-37	-11	-34	-36	-51	-33	-9	-34	-28	2	-37	-27	-22
Tajo	2011-2040	-16	-31		-1			-16	-17	-45		-36			-33
	2041-2070	-13	-50		-13			-25	-11	-25		-5			-14
	2071-2100	-34	-48	-7	-39	-38	-50	-36	-15	-37	-25	10	-53	-7	-21
Guadiana	2011-2040	-23	-35		12			-15	-16	-40		0			-19
	2041-2070	-19	-58		-32			-36	-16	-23		-14			-18
	2071-2100	-45	-54	-15	-53	-40	-51	-43	-17	-41	-23	5	-41	-11	-21
Guadalquivir	2011-2040	-16	-36		-4			-19	-13	-48		-26			-29
	2041-2070	-7	-55		-34			-32	-5	-36		-18			-20
	2071-2100	-37	-62	-26	-52	-41	-56	-46	-8	-44	-34	-5	-40	-22	-26
Tinto, Odiel Y Piedras	2011-2040	-10	-41		23			-9	-14	-61		-39			-38
	2041-2070	-8	-65		-25			-33	-12	-44		-16			-24
	2071-2100	-51	-65	-39	-59	-35	-43	-49	-18	-46	-48	4	-54	-43	-34
Guadalete - Barbate	2011-2040	-20	-35		2			-18	-16	-41		9			-16
	2041-2070	-12	-56		-41			-36	-10	-35		-20			-22
	2071-2100	-46	-62	-33	-58	-45	-64	-51	-10	-42	-38	-12	-46	-26	-29
Cuencas Mediterráneas	2011-2040	-4	-26		-9			-13	-12	-33		-28			-24
	2041-2070	-13	-41		-36			-30	-4	-31		-23			-19
	2071-2100	-29	-47	-33	-59	-32	-48	-41	-14	-31	-30	-27	-23	-15	-23
Segura	2011-2040	-12	-29		-5			-15	-28	-31		-30			-30
	2041-2070	-11	-44		-26			-27	-12	-32		-17			-20
	2071-2100	-25	-54	-19	-45	-47	-42	-39	-14	-38	-26	-11	-20	-24	-22
Júcar	2011-2040	-3	-16		-5			-8	-21	-26		-29			-25
	2041-2070	-11	-32		-20			-21	-12	-24		-15			-17
	2071-2100	-25	-33	-2	-48	-42	-48	-33	-12	-26	-16	-12	-29	-18	-19
Ebro	2011-2040	-11	-27		-12			-17	-8	-25		-32			-22
	2041-2070	-14	-27		-19			-20	-9	-26		-16			-17
	2071-2100	-19	-31	-15	-43	-38	-46	-32	-6	-26	-15	-12	-23	-24	-18
Cuencas Internas de Cataluña	2011-2040	5	-1		-7			-1	-9	-8		-26			-14
	2041-2070	-5	-11		-15			-10	-5	1		-5			-3
	2071-2100	-9	-7	14	-31	-35	-43	-19	-13	8	6	-10	-30	-8	-8

Tabla 70. Variación del recurso disponible (%) por demarcación hidrográfica y de toda España en los diferentes periodos de estudio respecto al periodo de control 1961-1990. Demanda uniforme (verde>0%; amarillo 0% a -20%; rojo < -20%).



EFEECTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LOS RECURSOS HÍDRICOS DISPONIBLES EN LOS SISTEMAS DE EXPLOTACIÓN

		Escenario de Emisiones A2						Escenario de Emisiones B2							
		CGCM2-FIC	ECHAM4-FIC	HadAM3-FIC	HadCM3-SDSM	HadCM3-PROMES	ECHAM4-RCAO	Media	CGCM2-FIC	ECHAM4-FIC	HadAM3-FIC	HadCM3-SDSM	HadCM3-PROMES	ECHAM4-RCAO	Media
España	2011-2040	-10	-20		-5			-12	-11	-24		-8			-14
	2041-2070	-11	-32		-19			-21	-12	-25		-16			-18
	2071-2100	-25	-35	-10	-38	-30	-41	-30	-7	-28	-16	-8	-30	-19	-18
Cantábrico Oriental	2011-2040	-11	-11		-22			-15	-7	-8		-20			-12
	2041-2070	-11	-25		-38			-25	-13	-23		-35			-24
	2071-2100	-17	-40	-20	-57	-47	-56	-40	-5	-27	-10	-35	-40	-34	-25
Cantábrico Occidental	2011-2040	-15	-23		-25			-21	-10	-13		-15			-13
	2041-2070	-23	-30		-32			-28	-19	-26		-29			-25
	2071-2100	-23	-40	-20	-48	-36	-37	-34	-13	-31	-6	-34	-33	-24	-24
Galicia-Costa	2011-2040	-3	-18		-11			-11	-1	-10		-11			-7
	2041-2070	-11	-26		-12			-16	-9	-20		-14			-14
	2071-2100	-19	-32	-7	-23	-42	-33	-26	-8	-25	-15	-13	-20	-12	-16
Miño-Sil	2011-2040	-4	-19		-9			-11	-3	-12		-9			-8
	2041-2070	-8	-24		-12			-15	-10	-24		-11			-15
	2071-2100	-17	-29	-6	-21	-25	-23	-20	-7	-23	-14	-9	-18	-11	-14
Duero	2011-2040	-9	-23		-5			-12	-9	-29		-10			-16
	2041-2070	-13	-37		-19			-23	-16	-34		-17			-22
	2071-2100	-25	-37	-7	-34	-27	-45	-29	-7	-33	-21	-4	-29	-22	-19
Tajo	2011-2040	-12	-28		10			-10	-14	-42		-17			-24
	2041-2070	-10	-50		-13			-24	-12	-27		-9			-16
	2071-2100	-31	-48	-2	-40	-28	-51	-33	-4	-38	-22	13	-49	-7	-18
Guadiana	2011-2040	-25	-33		10			-16	-18	-40		21			-12
	2041-2070	-17	-58		-29			-35	-13	-22		-16			-17
	2071-2100	-46	-56	-16	-54	-43	-51	-44	-14	-44	-26	3	-34	-11	-21
Guadalquivir	2011-2040	-26	-29		-4			-20	-19	-42		9			-17
	2041-2070	-13	-52		-32			-32	-15	-33		-18			-22
	2071-2100	-41	-60	-23	-51	-41	-55	-45	-14	-42	-29	-6	-32	-24	-25
Tinto, Odiel Y Piedras	2011-2040	-14	-43		24			-11	-10	-64		-9			-28
	2041-2070	-11	-69		-26			-35	-10	-44		-10			-21
	2071-2100	-55	-67	-34	-58	-38	-52	-51	-19	-53	-49	9	-53	-44	-35
Guadalete - Barbate	2011-2040	-25	-34		2			-19	-23	-42		22			-14
	2041-2070	-17	-58		-38			-38	-11	-37		-20			-23
	2071-2100	-47	-65	-33	-55	-45	-69	-52	-11	-44	-37	-9	-44	-29	-29
Cuencas Mediterráneas Andaluzas	2011-2040	-4	-20		-10			-11	-13	-30		-11			-18
	2041-2070	-6	-39		-34			-26	-7	-28		-24			-20
	2071-2100	-32	-45	-31	-57	-33	-52	-42	-11	-29	-30	-29	-23	-17	-23
Segura	2011-2040	-15	-27		-3			-15	-29	-29		-8			-22
	2041-2070	-14	-45		-23			-27	-15	-33		-18			-22
	2071-2100	-28	-54	-19	-44	-50	-41	-39	-14	-37	-27	-9	-19	-24	-22
Júcar	2011-2040	-6	-13		-4			-8	-22	-25		-10			-19
	2041-2070	-10	-30		-20			-20	-12	-22		-17			-17
	2071-2100	-26	-33	-3	-48	-46	-50	-34	-12	-25	-19	-12	-34	-21	-21
Ebro	2011-2040	-7	-13		-12			-11	-8	-14		-9			-10
	2041-2070	-11	-18		-18			-16	-12	-21		-17			-17
	2071-2100	-17	-21	-12	-40	-26	-37	-26	-5	-18	-10	-17	-23	-22	-16
Cuencas Internas de Cataluña	2011-2040	6	18		-8			5	-7	7		-10			-3
	2041-2070	-3	18		-16			0	-2	15		-13			0
	2071-2100	-9	27	-3	-29	-38	-54	-18	-2	18	-7	-14	-43	-26	-12

Tabla 71. Variación del recurso disponible (%) por demarcación hidrográfica y de toda España en los diferentes periodos de estudio respecto al periodo de control 1961-1990. Demanda variable (verde>0%; amarillo 0% a -20%; rojo < -20%).

A continuación se reflejan las principales conclusiones del estudio.

5.1. ANÁLISIS EN EL PERÍODO DE CONTROL

La comparación de las aportaciones en régimen natural en el período de control obtenidas aplicando el mismo modelo distribuido de precipitación escurriente (modelo SIMPA) a los datos climáticos de las diferentes proyecciones y a los realmente observados presentan desviaciones muy importantes. Las desviaciones son de tal magnitud que cuestionan los resultados de cualquier estudio que requiera como datos estas aportaciones, como es el caso de la determinación del recurso disponible. Este hecho se ve agravado debido a que existen diferencias muy importantes entre las aportaciones resultantes para cada una de las proyecciones. En general se aprecia una subestimación de la aportación anual media en régimen natural en las proyecciones de cambio climático con respecto a los datos observados; tan solo en las demarcaciones del Miño-Sil y de Galicia Costa la aportación anual media de la proyección con el modelo CGCM2-FIC es significativamente mayor, del orden del 20%, que la simulada a partir de datos observados (existe un caso mucho menos relevante, en la demarcación del Cantábrico Oriental, en la que con la proyección ECHAM4-FIC se obtiene un incremento inferior al 5%). Lo mismo sucede al comparar la distribución temporal de la serie de aportaciones anuales, de manera que es muy diferente la distribución temporal de las distintas proyecciones entre sí y con respecto a la serie derivada de los datos observados.

La incertidumbre en la estimación del recurso en régimen natural en el período de control se traslada al recurso disponible. La reducción del recurso disponible de las proyecciones con respecto al recurso disponible obtenido a partir de los datos climáticos observados puede ser incluso superior a la reducción de la aportación anual media, en función tanto de la distribución de los mínimos como del grado de regulación de la cuenca. En general, en cuencas con un grado de regulación elevado, la reducción del recurso disponible es inferior a la del recurso natural, salvo cuando la reducción del natural es tan elevada que la regulación no es capaz de laminar este efecto.

Si bien el comportamiento es diferente de una demarcación a otra, con frecuencia, las proyecciones ECHAM4-RCAO y las HadAM3-FIC son las que presentan las mayores desviaciones en cuanto a aportación anual media en régimen natural y en cuanto a recurso disponible en el período de control frente a los valores simulados a partir de los datos observados. En cambio, las proyecciones CGCM2-FIC y HadCM3-SDSM, en general, suelen presentar menores desviaciones respecto a la aportación anual media en régimen natural de la demarcación. Las desviaciones se deben fundamentalmente, como se indica en *Evaluación del impacto del cambio climático en los recursos hídricos en régimen natural* (CEDEX, 2010) a las diferencias entre la precipitación observada y la resultante de las proyecciones de cambio climático.

En el período de control no puede afirmarse con carácter general que la reducción del recurso disponible que arrojan las proyecciones climáticas respecto a los datos observados sea sensible al tipo de demanda considerada: en general, o bien es muy similar para las dos modulaciones consideradas o bien es mayor para demanda uniforme (en ocho de las 15 demarcaciones analizadas), lo cual puede explicarse, entre otros motivos, por la mayor exigencia del criterio de garantía aplicado.

La repercusión de los caudales mínimos se ha limitado al período de control. Se han considerado en las cinco demarcaciones (Cantábrico Oriental, Miño-Sil, Duero, Guadalquivir y Cuencas Internas de Cataluña) en las que se ha dispuesto en la elaboración del presente trabajo de borradores de los planes hidrológicos de cuenca en proceso de consulta pública o en estado más avanzado de tramitación cuya normativa contenía una propuesta de definición



de caudales mínimos. Los tramos en los que se han definido estos caudales en los sistemas de explotación han sido los correspondientes a masas estratégicas exclusivamente.

En el Cantábrico Oriental se contaba exclusivamente con los valores correspondientes a las Cuencas Internas del País Vasco, que constituye sólo una parte de la demarcación, por lo que su efecto no es comparable al resto de las demarcaciones. En el caso del Duero y del Guadalquivir, los tramos estratégicos con caudales mínimos se encuentran muy aguas arriba de la demanda concentrada ubicada al final de la cuenca, de manera que su efecto sobre el recurso disponible no es apreciable debido, fundamentalmente, a la configuración adoptada del esquema. Con las simplificaciones adoptadas, los únicos casos en los que se puede tener una aproximación al efecto que supone la implantación del régimen de caudales mínimos sobre el recurso disponible son el Miño-Sil y las Cuencas Internas de Cataluña, pues existe un tramo con caudal mínimo inmediatamente aguas abajo de la demanda concentrada. La simplificación de concentrar la demanda al final de la cuenca puede implicar una sobrevaloración de la reducción del recurso disponible debida a la implantación de los caudales mínimos. La reducción de recurso disponible que supone su consideración en el período de control oscila entre el 20% y el 50%, dependiendo de la proyección, en el Miño-Sil, y entre el 30% y el 50% en las Cuencas Internas de Cataluña. La variación del recurso disponible calculada como consecuencia del cambio climático entre 2011 y 2100 oscila entre +5% y -35% para el Miño-Sil y +8% y -43% para las Cuencas Internas de Cataluña.

5.2. EVOLUCIÓN DEL RECURSO DISPONIBLE A LO LARGO DEL TIEMPO.

Se considera que, si bien del examen de las tablas anteriores parece deducirse que existe una tendencia generalizada a la reducción del recurso disponible, esta conclusión debe ser muy matizada. Ello es debido, además de a las incertidumbres detectadas en el análisis del período de control, a la dispersión de los resultados de variación del recurso disponible respecto al período de control obtenidos para una misma demarcación, escenario, período y modulación de demanda, en función del modelo de circulación global o del procedimiento de regionalización. En efecto, dependiendo del modelo y procedimiento de regionalización aparecen diferencias sustanciales, de orden de magnitud, en la reducción del recurso disponible (exclusivamente a título ilustrativo, puede mencionarse el caso de la demarcación del Guadiana en 2011-2040 en el escenario A2, donde la variación del recurso disponible respecto al período de control oscila en función del modelo y procedimiento de regionalización entre +12% y -35%). En consecuencia, se considera que los valores medios no son representativos y que la disparidad de los resultados obliga a reconsiderar los datos de partida, dificultando la obtención de cualquier tipo de conclusiones.

En función de todo lo anterior parece razonable dedicar mayores esfuerzos a seleccionar los modelos y procedimientos de regionalización que conduzcan a resultados más fiables y realizar los análisis sólo con ellos, acotando el número de proyecciones a considerar.

No pueden establecerse patrones de comportamiento de validez general para todas las demarcaciones. En la mayoría de ellas, la evolución del recurso disponible a lo largo del tiempo en un mismo escenario climático no es sensible a la modulación de la demanda. En cinco demarcaciones (Cantábrico Occidental, Cantábrico Oriental, Miño-Sil, Galicia Costa y Cuencas Internas de Cataluña) existe un comportamiento diferente en función de la demanda, siendo en general más desfavorable con demanda uniforme; es decir, la reducción del recurso disponible con respecto al período de control a lo largo del tiempo es mayor con demanda uniforme que con variable, si bien depende de la proyección de que se trate. El motivo puede ser la mayor exigencia de garantía, la diferencia en la distribución de los mínimos y el grado de regulación, como se analiza en detalle en el apartado dedicado a cada una de las demarcaciones.



En el escenario A2, para una misma demarcación, en general se observa un incremento de la reducción del recurso disponible frente al período de control a medida que se avanza en el tiempo, si bien el gradiente de la reducción es variable según la proyección y la demarcación.

En el escenario B2, para una misma demarcación, en general hay disparidad de tendencias según la proyección, de manera que el recurso disponible con respecto al período de control en algunas proyecciones se mantiene sensiblemente constante en el tiempo, en otras al principio (P2) se reduce y luego (P4) aumenta o viceversa y en otras aumenta sostenidamente a lo largo del tiempo. En algunas demarcaciones predomina la tendencia a la estabilidad en todas las proyecciones, mientras que en otras la disparidad de tendencias entre las proyecciones es patente. Cabe destacar que en este escenario en la proyección HadCM3-SDSM el recurso disponible con frecuencia tiende a aumentar con el tiempo, llegando incluso a superar al recurso disponible en el período de control.

En general hay coincidencia en todas las demarcaciones en que a largo plazo, período P3 y sobre todo P4, el escenario B2 es más favorable que el A2; es decir, la reducción del recurso disponible con respecto al período de control tanto con demanda uniforme como variable a largo plazo es mayor en el escenario A2 que en el B2. Sin embargo, en el corto plazo, período P2 hay disparidad de resultados según la proyección y la demarcación, siendo con frecuencia peor el resultado en el escenario B2 que en el A2. Este resultado avalaría la eficacia de las medidas adoptadas en el escenario B2 a largo plazo.

Por último, en algunas demarcaciones existen proyecciones en las que la evolución en el tiempo de la aportación anual media en régimen natural respecto al período de control y la del recurso disponible resulta aparentemente anómala, puesto que a una aportación anual media igual o incluso mayor que la del período de control, le corresponde un recurso disponible inferior al de partida. En la mayor parte de estos casos, la explicación preliminar de este comportamiento es que la aportación anual mínima en el período con resultados anómalos es menor que la correspondiente al período de control, lo que podría ser la causa del menor recurso disponible, que está condicionado por los valores mínimos de la serie y su sucesión temporal y no tanto por el valor de la aportación media. Además, en ciertos casos, la serie de aportaciones anuales presenta valores extremos en mayor número y más elevados que los del período de control, lo que hace aumentar la media de la aportación anual, aumento que no se traslada al recurso disponible, puesto que su estimación queda limitada por los valores inferiores de la serie de aportaciones y no se ve afectado por estos valores tan elevados. Sin embargo, en varios casos, resultaría necesario realizar un análisis de la variabilidad intra e interanual de la serie de aportaciones anuales para encontrar una explicación concluyente para esta anomalía.



6. EQUIPO REDACTOR DEL ESTUDIO

El presente trabajo ha sido realizado en el Área de Estudios y Planificación del Centro de Estudios Hidrográficos. En él han intervenido, además de quien lo suscribe, D^a Paula Pascual Bernáldez, D^a María Alba Solans Verdú y D^a María Estrella Alonso Tejedor. En las tareas de tratamiento de los datos ha participado también D. Rafael Díaz Pérez. Cabe señalar la colaboración del Área de Tecnologías de la Información, en particular de D^a María del Carmen Ángel Martínez.

Madrid, diciembre de 2012

El Director del trabajo

D. Ángel García Cantón
Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos
Jefe del Área de Estudios y Planificación



CEDEX

7. REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA

Agencia Andaluza del Agua. *Propuesta de Proyecto de Plan Hidrológico de la Demarcación Hidrográfica del Tinto, Odiel y Piedras*. Borrador de consulta pública. Consejería de Medio Ambiente.

Agencia Andaluza del Agua. *Proyecto de Plan Hidrológico de la Demarcación Guadalete-Barbate*. Memoria. Borrador de Consulta Pública. Consejería de Medio Ambiente.

Agencia Andaluza del Agua. *Proyecto de Plan Hidrológico de la Demarcación Hidrográfica de las Cuencas Mediterráneas Andaluzas*. Borrador de Consulta Pública. Consejería de Medio Ambiente

Agència Catalana de l'Aigua (ACA). *Agua y cambio climático. Diagnóstico de los impactos previstos en Cataluña*. Generalitat de Catalunya. Departament de Medi Ambient i Habitatge. 2009.

Agència Catalana de l'Aigua (ACA). *Pla sectorial de cabals de manteniment de les conques internes de Catalunya*. Generalitat de Catalunya. Departament de Medi Ambient i Habitatge. 2005.

Agència Catalana de l'Aigua (ACA). *Plan de Gestión del Distrito de la cuenca fluvial de Catalunya*. Agència Catalana de l'Aigua. 2010. ([http://aca-web.gencat.cat/aca/appmanager/aca/aca.jsessionid=DvhpPWTMS1ntnw9hPptTy1nQyfvpkQCWGVQsx2MTsHghlgQJKGJC!1321129649!-1488377848?nfpb=true&pageLabel=P29600129321280749434777&profileLocale=es](http://aca.web.gencat.cat/aca/appmanager/aca/aca.jsessionid=DvhpPWTMS1ntnw9hPptTy1nQyfvpkQCWGVQsx2MTsHghlgQJKGJC!1321129649!-1488377848?nfpb=true&pageLabel=P29600129321280749434777&profileLocale=es)).

Agencia Estatal de Meteorología (AEMET). *Generación de escenarios regionalizados de cambio climático para España*. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. 2008.

Agencia Vasca del Agua. *Proyecto de Plan Hidrológico de las Cuencas Internas del País Vasco*. Documentación a consulta pública. 2010. http://www.uragentzia.euskadi.net/u81-0003/es/contenidos/informacion/plan_hidrologico/es_doc/plan_hidrologico.html

Andreu, J. *Modelo OPTIGES de optimización de la gestión de esquemas de recursos hídricos. Manual de usuario versión 2.0*. Universidad Politécnica de Valencia. 1992.

Augas de Galicia. *Propuesta de Plan Hidrológico de Galicia Costa*. Documentación a consulta pública. 2011 <http://www.planhidroloxigc.com/web/documentacion>

CEDEX. *Evaluación del impacto del cambio climático en los recursos hídricos en régimen natural*. Memoria. 2010.

CEDEX. *Sistematización de la información gráfica y alfanumérica del archivo DGA-CEDEX, confección de una base de datos y desarrollo de una aplicación de gestión de la base de datos. Encomienda de gestión para la Asistencia Técnica, Investigación y Desarrollo tecnológico en materias competencia de la Dirección General del Agua (2007-2011)*. 2011.

Christensen, N.S., Wood, A.W., Voisin, N., Lettenmaier, D.P., Palmer R.N. *The effects of climate change on the hydrology and water resources of the Colorado River basin*. Climatic Change 62: 337-363. 2004.

Confederación Hidrográfica del Cantábrico. *Propuesta de Proyecto de Plan Hidrológico de la Demarcación Hidrográfica del Cantábrico Occidental*. Borrador para consulta pública. 2011



http://www.chcantabrico.es/index.php?option=com_content&view=category&layout=blog&id=235&Itemid=320&lang=es

Confederación Hidrográfica del Cantábrico. *Propuesta de Proyecto de Plan Hidrológico de la parte española de la Demarcación Hidrográfica del Cantábrico Oriental*. Borrador para consulta pública. 2011

http://www.chcantabrico.es/index.php?option=com_content&view=category&layout=blog&id=234&Itemid=319

Confederación Hidrográfica del Duero. *Plan Especial de actuación en situaciones de alerta y eventual sequía*. Ministerio de Medio Ambiente. 2007. (http://www.mma.es/portal/secciones/acm/aguas_continent_zonas_asoc/ons/planes_sequia_isa/s/ch_duero.htm).

Confederación Hidrográfica del Duero. *Plan Hidrológico de la parte española de la Demarcación Hidrográfica del Duero. Propuesta de Proyecto de Plan Hidrológico de Cuenca*. Borrador de Consulta Pública. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. (<http://www.chduero.es/Inicio/Planificaci3n/Planhidrol3gico2009/PropuestaPlanHidrol3gico/Memoria/tabid/495/Default.aspx>).

Confederación Hidrográfica del Duero. *Plan Hidrológico*. Ministerio de Obras Públicas, Transportes y Medio Ambiente. Dirección General de Obras Hidráulicas. 1998. (<http://www.chduero.es/Portals/0/OficinaPlani/planhidro/PHMemoria.pdf>).

Confederación Hidrográfica del Ebro. *Embalse de La Loteta* (folleto informativo). Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino.

Confederación Hidrográfica del Ebro. *Proyecto de Plan Hidrológico de la Cuenca del Ebro*. Borrador de Consulta Pública. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. (<http://www.chebro.es/contenido.visualizar.do?idContenido=4171&idMenu=3040>).

Confederación Hidrográfica del Guadalquivir. *Plan Hidrológico del Guadalquivir* Ministerio de Medio Ambiente. Secretaría de Estado de Aguas y Costas. 1998.

Confederación Hidrográfica del Guadalquivir. *Plan Hidrológico del Guadalquivir (Guadalete-Barbate)*. Ministerio de Medio Ambiente. Secretaría de Estado de Aguas y Costas. 1998.

Confederación Hidrográfica del Guadalquivir. *Propuesta de Proyecto de Plan Hidrológico de la Demarcación Hidrográfica del Guadalquivir*. Documento para Consulta Pública. 2010. <http://www.chguadalquivir.es/opencms/portalchg/planHidrologicoDemarcacion/participacionPublica/consultaPublica/>.

Confederación Hidrográfica del Guadiana. *Azud en el río Ruecas, obras de regulación en Gargáligas, Cubilar y derivación al canal de las Dehesas (Cáceres, Badajoz)*. Ministerio de Medio Ambiente.

Confederación Hidrográfica del Guadiana. *Plan Hidrológico del Guadiana (Tinto, Odiel y Piedras)*. Ministerio de Medio Ambiente. Secretaría de Estado de Aguas y Costas. 1998

Confederación Hidrográfica del Guadiana. *Plan Hidrológico del Guadiana*. Ministerio de Medio Ambiente. Secretaría de Estado de Aguas y Costas. 1998.

Confederación Hidrográfica del Júcar. *Plan Especial de alerta y eventual sequía en la Confederación Hidrográfica del Júcar*. Ministerio de Medio Ambiente. 2007. (http://www.mma.es/portal/secciones/acm/aguas_continent_zonas_asoc/ons/planes_sequia_isa/s/ct_jucar.htm).

Confederación Hidrográfica del Júcar. *Plan Hidrológico*. Ministerio de Medio Ambiente. Secretaría de Estado de Aguas y Costas. 1998. (<http://www.chj.es/es->



[es/medioambiente/planificacionhidrologica/Documents/Plan%20Hidrologico%20Cuenca/MEMORIA.pdf](http://www.mma.es/medioambiente/planificacionhidrologica/Documents/Plan%20Hidrologico%20Cuenca/MEMORIA.pdf)).

Confederación Hidrográfica del Miño-Sil. *Plan Hidrológico de la parte española de la Demarcación Hidrográfica del Miño-Sil*. Borrador de Consulta Pública. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. (<http://www.chminosil.es/contenido.php?mod=0&id0=4&id1=122>).

Confederación Hidrográfica del Segura. *Informe de los artículos 5, 6 y 7 de la Directiva Marco del Agua en la Demarcación Hidrográfica del Segura*. Ministerio de Medio ambiente. Dirección General del Agua. 2005. (<http://www.chsegura.es/chs/planificacionydma/dma/implementacion/informearticulos567/>).

Confederación Hidrográfica del Segura. *Plan de actuación en situaciones de alerta y eventual sequía en la cuenca del Segura*. Ministerio de Medio Ambiente. 2007. (http://www.mma.es/portal/secciones/acm/aguas continent zonas asoc/ons/planes sequia isa/ch_segura.htm).

Confederación Hidrográfica del Segura. *Plan Hidrológico de la cuenca del Segura*. Ministerio de Medio Ambiente. Secretaría de Estado de Aguas y Costas. 1998. (<http://www.chsegura.es/chs/planificacionydma/plandecuenca/documentoscompletos/>)

Confederación Hidrográfica del Sur. *Plan Hidrológico de la cuenca del Sur*. Ministerio de Medio Ambiente. Secretaría de Estado de Aguas y Costas. 1998.

Confederación Hidrográfica del Tajo. *Informe Resumen de los artículos 5 y 6 de la Directiva Marco del Agua en la Demarcación Hidrográfica del Tajo*. Ministerio de Medio ambiente. Dirección General del Agua. (<http://www.chtajo.es/DemarcaTajo/dma/Paginas/Articulos5Y6.aspx>)

Confederación Hidrográfica del Tajo. *Plan Especial de actuación en situaciones de alerta y eventual sequía de la cuenca hidrográfica del Tajo*. Ministerio de Medio Ambiente. 2007. (http://www.mma.es/portal/secciones/acm/aguas continent zonas asoc/ons/planes sequia isa/ch_tajo.htm).

Convenio sobre cooperación para la protección y el aprovechamiento sostenible de las aguas de las cuencas hidrográficas hispano-portuguesas, hecho <<ad referendum>> en Albufeira el 30 de noviembre de 1998. BOE de 12 de febrero de 2000.

De Lama, B. *Metodología de evaluación e identificación de políticas de adaptación al cambio climático en la gestión de recursos hídricos*. Universidad Politécnica de Madrid. E.T.S.I. Caminos, Canales y Puertos. 2011.

Decreto 540/2005, de 2 de noviembre, por el que se regulan medidas excepcionales ante la situación de sequía en diversos municipios de Málaga. BOJA de 7 de noviembre.

Dirección General de Obras Hidráulicas. *Inventario de presas españolas 1986*. Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo. 1988.

Ficha Informativa de los Humedales de Ramsar relativa al embalse de Orellana: http://www.marm.es/es/biodiversidad/temas/conservacion-de-humedales/23_orellana_0_tcm7-20668.pdf

García, J., Revilla, J. A., Sáinz, J. A., Álvarez, C., García, A., Juanes, J.A., Puente, A. *Modelo de gestión del bitrasvase del Ebro*. V Congreso Nacional de Ingeniería Civil, Sevilla, 2007. Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos http://www.ciccp.es/biblio_digital/V_Congreso/congreso/pdf/010321.pdf



Garrote, L., Rodríguez, I., Estrada, F. *Una evaluación de la capacidad de regulación de las cuencas de la España peninsular*. VI Jornadas Españolas de Presas. Vol 2, 645-656. Comité Nacional Español de Grandes Presas, Málaga, 1999.

Gobierno de Cantabria. Consejería de Medio Ambiente. *La Autovía del Agua. La corriente más extraordinaria* (folleto informativo).
http://www.medioambientecantabria.es/documentos_contenidos/10053_1.dossier_autovia_agua.pdf

Hamilton, A.T., Barbour, M.T., Bierwagen, B.G. *Implications of global change for the maintenance of water quality and ecological integrity in the context of current water laws and environmental policies*. Hydrobiologia DOI 10.1007/s10750-010-0316-6. 2010.

Hernández, L. *Efectos del cambio climático en los sistemas complejos de recursos hídricos. Aplicación a la cuenca del Júcar*. Universidad Politécnica de Valencia. E.T.S.I. Caminos, Canales y Puertos .2007.

Hidroguadiana-Ministerio de Medio Ambiente. *Informe de viabilidad de la conducción desde la presa de Torre de Abraham al embalse de Gasset para el abastecimiento a Ciudad Real y su comarca*. 2006.

IPCC (Intergovernmental Panel On Climate Change). *ClimateChange 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Working Group II Contribution to the IPCC Fourth Assesment Report*. 2007.

Milly, P.C.D., Betancourt, J., Falkenmark, M., Hirsch, R.M., Kundzewicz, Z. W., Lettenmaier, D. P., Stouffer, R. J. *Stationarity is dead: whither water management?*. Science 319: 573-574. 2008.

Ministerio de Medio Ambiente (MIMAM). *Inventario de presas y embalses*:
<http://www.marm.es/es/cartografia-y-sig/temas/sistema-nacional-de-cartografia-de-zonas-inundables-snczi-/inventario-presas-y-embalses/default.aspx>

Ministerio de Medio Ambiente (MIMAM). *Libro blanco del agua en España*. Ministerio de Medio Ambiente. 2000.

Ministerio de Medio Ambiente (MIMAM). *Plan Hidrológico Nacional: Análisis de los sistemas hidráulicos*. 2000.

Ministerio de Medio Ambiente (MIMAM). *Tres casos de planificación hidrológica*. Ministerio de Medio Ambiente. Secretaría de Estado de Aguas y Costas. Dirección General de Obras Hidráulicas y Calidad de las Aguas. 2000.

Murillo, J.M., Navarro, J.A. *Las aguas subterráneas en la investigación y la gestión hídrica medioambiental. Uso conjunto y caudal medioambiental. Aplicación al sistema de aprovechamiento del Quebrajano-Víboras*. Instituto Geológico y Minero de España, 2008.

Orden ARM/2656/2008, de 10 de septiembre, por la que se aprueba la instrucción de planificación hidrológica. BOE de 22 de septiembre de 2008.

ORDEN de 13 de agosto de 1999 del Minsterio de Medi Ambiente por la que se dispone la publicación de las determinaciones de contenido normativo de los Planes Hidrológicos de Cuenca del Norte I, Norte II y Norte III, aprobados por el Real Decreto 1664/1998, de 24 de julio. BOE 27 de agosto de 1999.

Palmer, M.A., Lettenmaier, D.P., Poff, N.L., Postel, S.L., Richter, B., Warner, R. *Climate change and river ecosystems: protection and adaptation options*. Environmental Management 44: 1053-1068. 2009.



CEDEX

Payne, J.T., Wood, A.W., Hamlet, A.F., Palmer, R.N., Lettenmaier, D.P. *Mitigating the effects of climate change on the water resources of the Columbia River basin*. Climatic Change 62: 233-256. 2004.

Pearson, R. G., Dawson, T.P. *Predicting the impacts of climate change on the distribution of species: are bioclimate envelope models useful?*. Global Ecology and Biogeography 12: 361-371. 2003.

Protocolo de revisión del Convenio sobre cooperación para la protección y el aprovechamiento sostenible de las aguas de las cuencas hidrográficas hispano-portuguesas y el Protocolo adicional, suscrito en Albufeira el 30 de noviembre de 1998, hecho en Madrid y Lisboa el 4 de abril de 2008. BOE 16 de enero de 2010.

Real Decreto 907/2007, de 6 de julio, por el que se aprueba el Reglamento de la Planificación Hidrológica. BOE de 7 de julio de 2007.

Resolución de 15 de marzo de 1993, de la Subsecretaría, por la que se dispone la publicación del Acuerdo del Consejo de Ministros de 21 de febrero de 1992, por el que se autoriza la inclusión de nueve humedales en la lista del Convenio sobre Humedales de Importancia Internacional, especialmente como hábitat para las aves acuáticas (Ramsar, 2 de febrero de 1971). BOE de 26 de marzo de 1993.

Rodríguez, I.C. *Sensibilidad de los sistemas de explotación de recursos hídricos frente al cambio climático en España*. Universidad Politécnica de Madrid. E.T.S.I. Caminos, Canales y Puertos. 2004.

Ruiz, J.M. *Modelo distribuido para la evaluación de recursos hídricos*. Monografías CEDEX. Madrid. 1999.

Sandoval, J.M. *El trasvase Tajo-Segura. Solución al desequilibrio hidrológico*. Ediciones Nuevos Enfoques. 1989.

Solera, A., Paredes, J., Andreu, J. *AquatooldMA SSD para planificación de cuencas. Manual de usuario v 1.0*. Universidad Politécnica de Valencia. 2007.

Xunta de Galicia. *Plan Hidrológico de Galicia Costa aprobado por Real Decreto 103/2003 de 24 de enero* <http://augasdegalicia.xunta.es/es/1.2.htm>

Otras páginas web consultadas para la definición del modelo de cada demarcación:

Agencia Andaluza del Agua:
<http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/site/web/menuitem.637844561ad6506130a7fa105510e1ca/?vqnextoid=a2217c7c5a1a5210VgnVCM1000001325e50aRCRD>

Aigües Ter-Llobregat (ATLL): http://www.atll.cat/site/unitFiles/912/mapa_2009.pdf

Aqualia: <http://www.aqualia.es/almeria/abastecimiento/general.asp>

Confederación Hidrográfica del Duero:
<http://www.chduero.es/Inicio/Infraestructuras/Canalesyzonasregables/tabid/148/Default.aspx>

Confederación Hidrográfica del Guadalquivir:
<http://www.chguadalquivir.es/opencms/portalchg/laDemarcacion/guadalquivir/infraestructurasHidraulicas/embalses/>

Confederación Hidrográfica del Guadiana:
<http://www.chguadiana.es/?chguadiana=7ab38626477dc68a35aeb443eb1b5d0c&url=la+cuenca+hidrogr%E1fica+infraestructuras&corp=chguadiana&lang=es&mode=view>



CEDEX

Confederación Hidrográfica del Júcar: <http://www.chj.es/es-es/medioambiente/cuencahidrografica/Paginas/Hidrología.aspx#cuatro>

Confederación Hidrográfica del Segura: <http://www.chsegura.es/chs/planificacionydma/planificacion/aportaciones.html>
<http://www.chsegura.es/chs/cuenca/infraestructuras/postrasvaseTajoSegura/infraestructura02.html>

Consortio de Aguas de la Marina Baja: <http://www.consorciomarinabaja.org/infraestructuras.php>

Instituto Universitario de Investigación de Ingeniería del Agua y Medio Ambiente: <http://www.iiama.upv.es:8080/aquatool/aquatooldma>

Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino: <http://www.marm.es/es/agua/temas/planificacion-hidrologica/planificacion-hidrologica/>



ANEJO 1

RECURSO DISPONIBLE Y SERIES DE APORTACIÓN ANUAL EN RÉGIMEN NATURAL PARA CADA DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA



En este anejo se refleja para cada demarcación la serie de aportación anual en régimen natural resultante para cada proyección climática (modelo de circulación global, sistema de regionalización y escenario) una vez aplicado el modelo hidrológico distribuido SIMPA. Se refleja también la serie obtenida a partir de los datos climáticos observados en el período de control. La gráfica presenta discontinuidades debido a que existe un lapso de 20 años entre el período de control (P1; 1961/62 – 1989/90, que comprende 29 años hidrológicos) y el primer período futuro (P2, 2011/2012- 2039/2040). A su vez, existe una discontinuidad de un año entre los tres períodos futuros (2010-2100), debido a que en cada uno de ellos se han considerado solo 29 años con objeto de garantizar la homogeneidad en el número de años al comparar con el período de control, para el que sólo se dispone de datos para 29 años hidrológicos (30 años naturales). En el mismo gráfico en el que se reflejan las series de aportación en régimen natural se ha representado también el recurso disponible resultante con demanda uniforme y con demanda variable para cada proyección y período.

Igualmente se incluye para cada demarcación el diagrama de cajas correspondiente a las series de aportación anual en régimen natural para cada proyección climática.

1. DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DEL CANTÁBRICO OCCIDENTAL

1.1. Proyección CGCM2-FIC

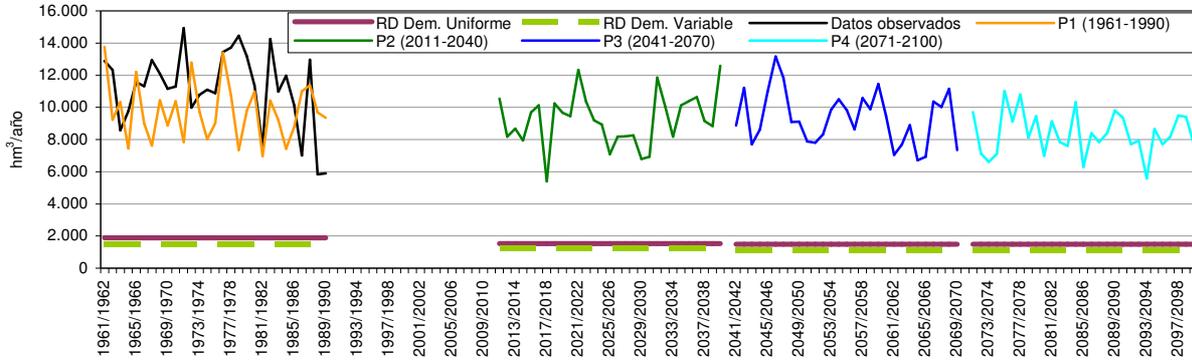


Figura 102. Serie de aportación anual en cada periodo y recurso disponible para la D. H. del Cantábrico Occidental. CGCM2-FIC-A2

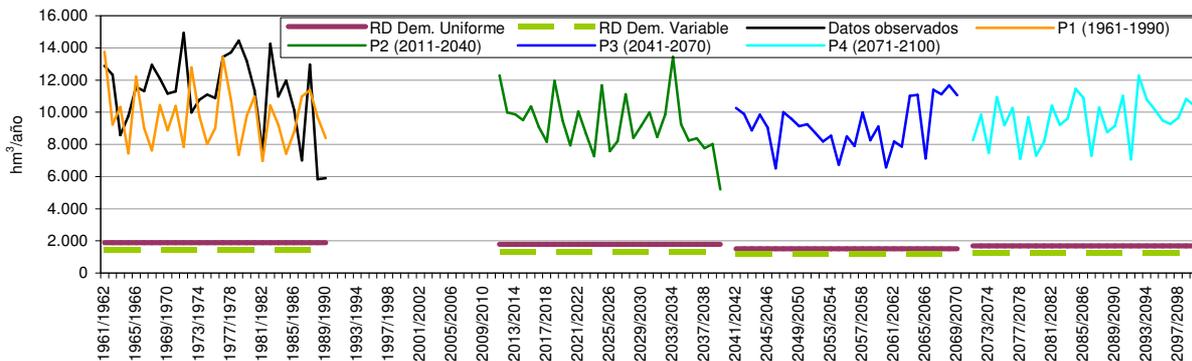


Figura 103. Serie de aportación anual en cada periodo y recurso disponible para la D. H. del Cantábrico Occidental. CGCM2-FIC-B2

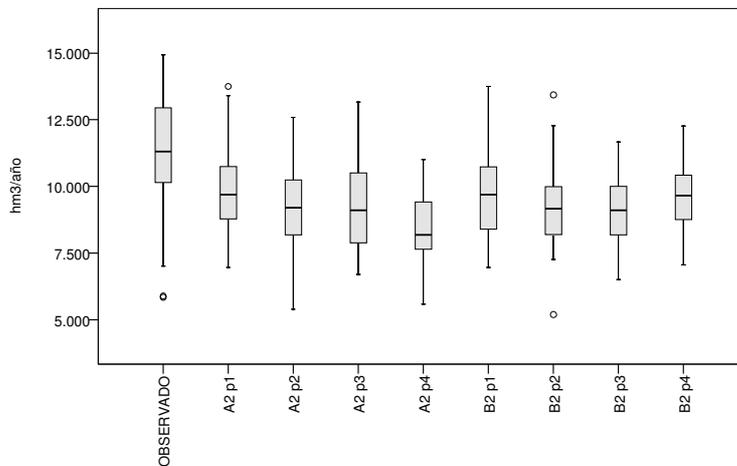


Figura 104. Diagrama de cajas de las series de aportación anual. D. H. del Cantábrico Occidental. CGCM2-FIC (A2 y B2)

1.2. Proyección ECHAM4-FIC

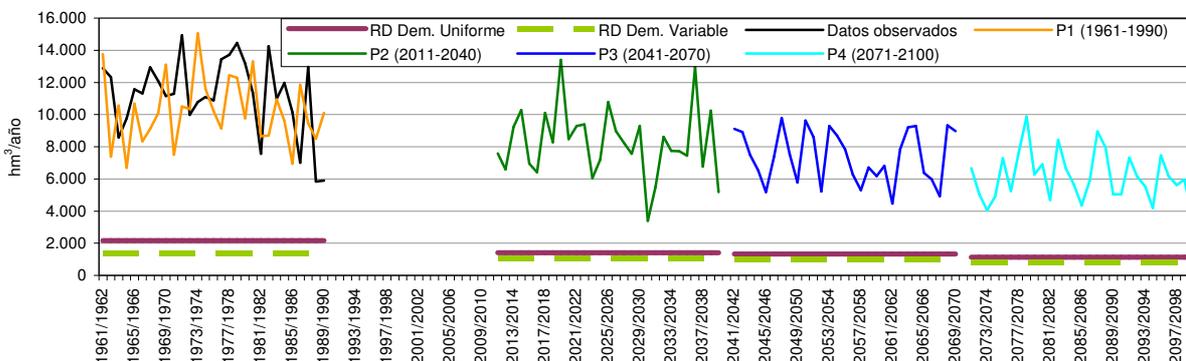


Figura 105. Serie de aportación anual en cada periodo y recurso disponible para la D. H. del Cantábrico Occidental. ECHAM4-FIC-A2

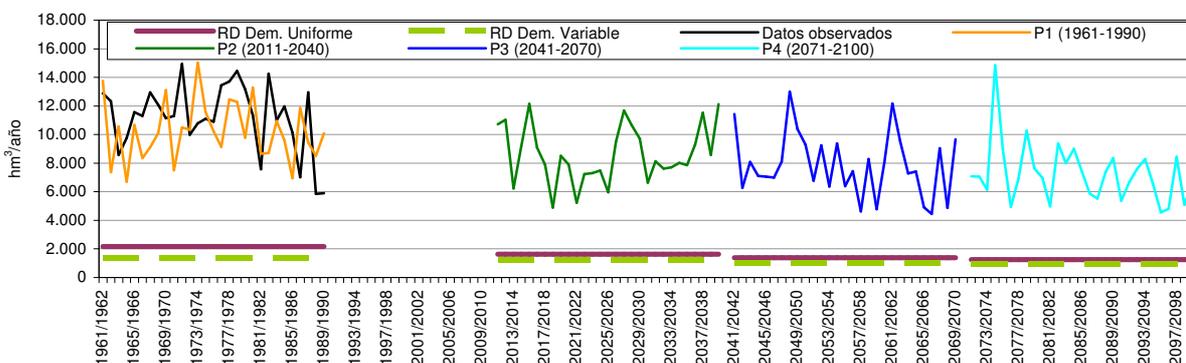


Figura 106. Serie de aportación anual en cada periodo y recurso disponible para la D. H. del Cantábrico Occidental. ECHAM4-FIC-B2

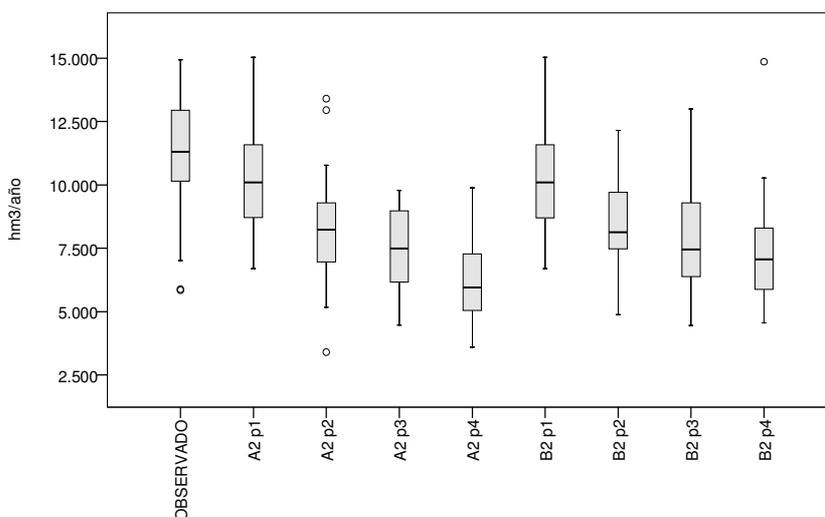


Figura 107. Diagrama de cajas de las series de aportación anual. D. H. del Cantábrico Occidental. ECHAM4-FIC (A2 y B2)



1.3. Proyección HadCM3-SDSM

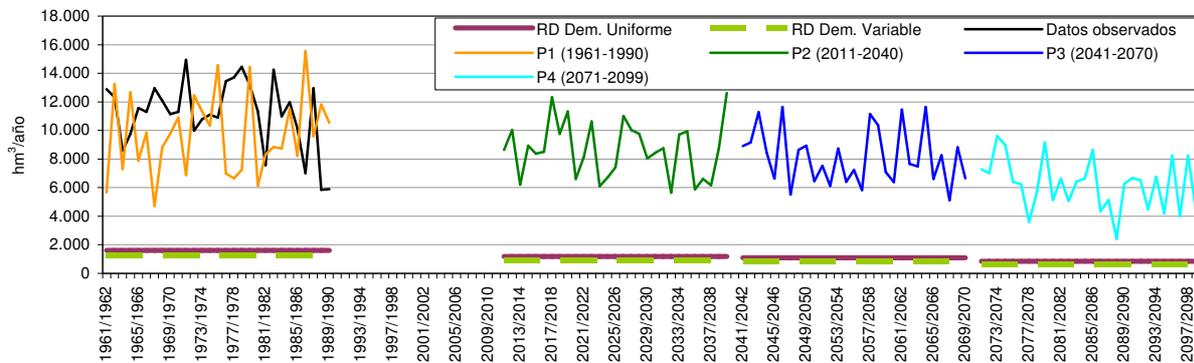


Figura 108. Serie de aportación anual en cada periodo y recurso disponible para la D. H. del Cantábrico Occidental. HadCM3-SDSM-A2

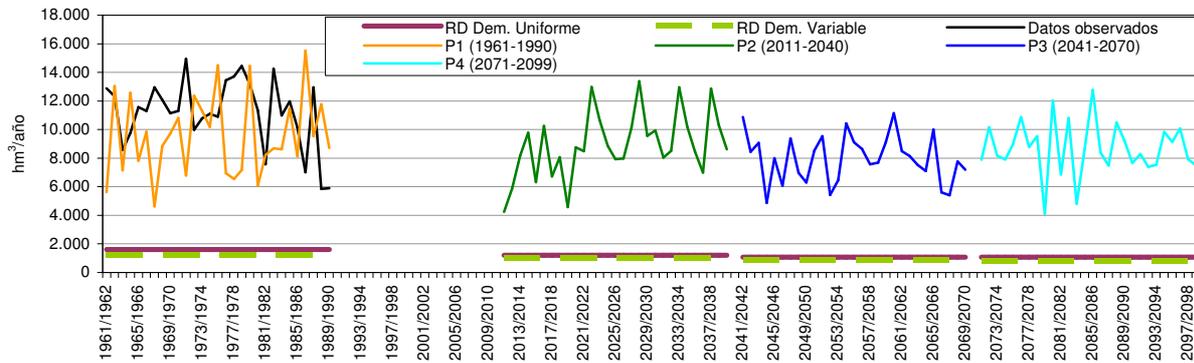


Figura 109. Serie de aportación anual en cada periodo y recurso disponible para la D. H. del Cantábrico Occidental. HadCM3-SDSM-B2

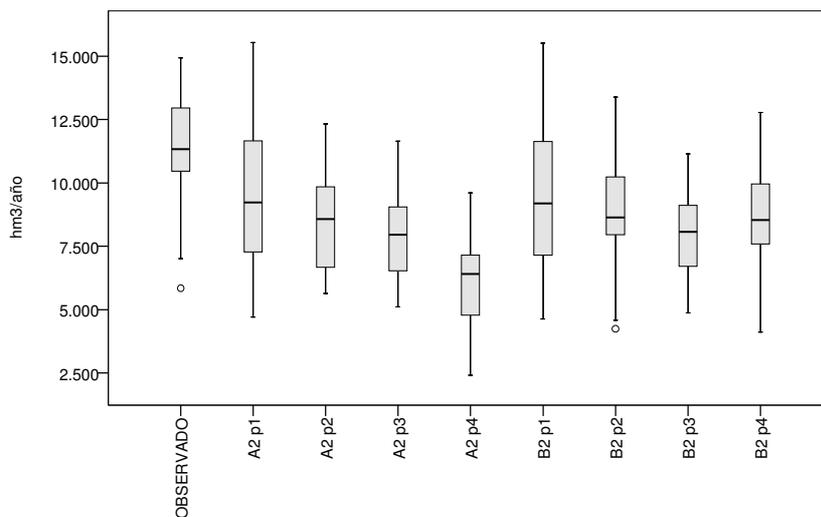


Figura 110. Diagrama de cajas de las series de aportación anual. D. H. del Cantábrico Occidental. HadCM3-SDSM (A2 y B2)

1.4. Proyección ECHAM4-RCAO

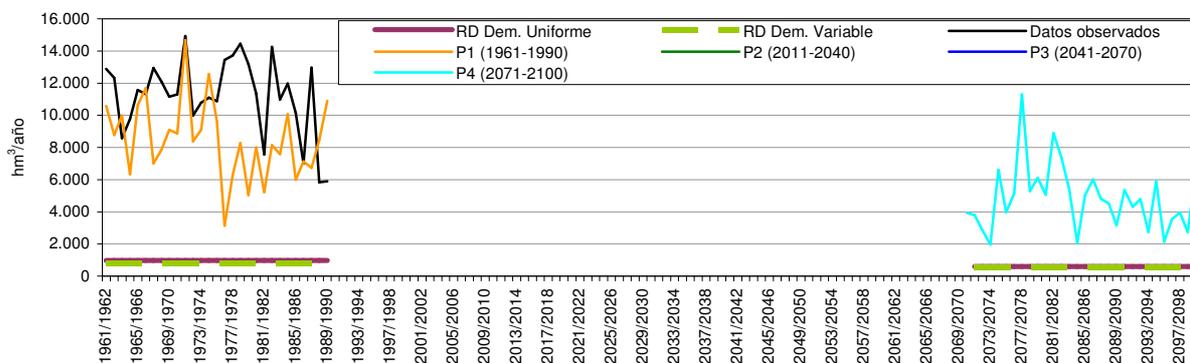


Figura 111. Serie de aportación anual en cada periodo y recurso disponible para la D. H. del Cantábrico Occidental. ECHAM4-RCAO-A2

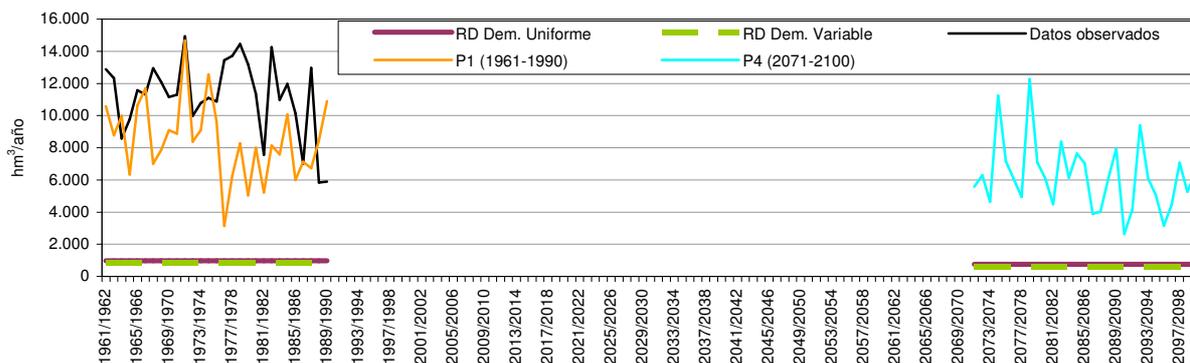


Figura 112. Serie de aportación anual en cada periodo y recurso disponible para la D. H. del Cantábrico Occidental. ECHAM4-RCAO-B2

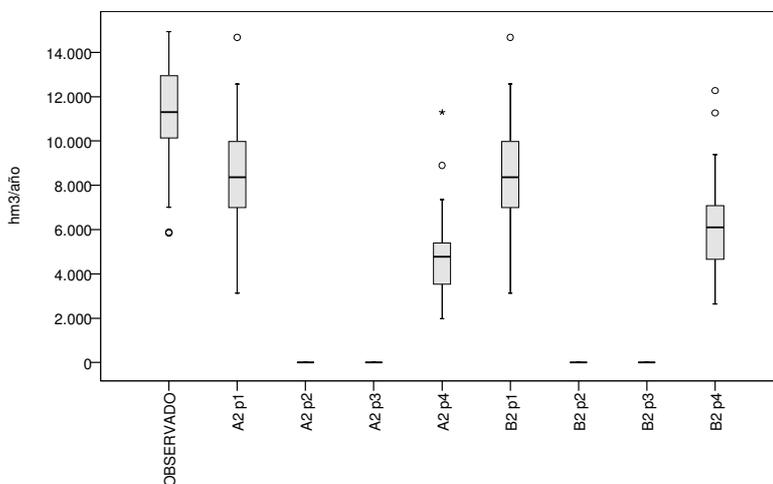


Figura 113. Diagrama de cajas de las series de aportación anual. D. H. del Cantábrico Occidental. ECHAM4-RCAO (A2 y B2)



1.5. Proyección HadAM3-FIC

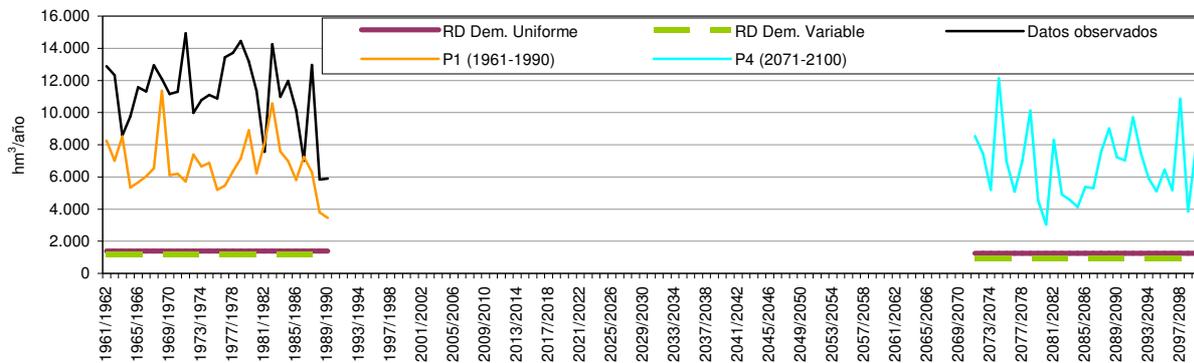


Figura 114. Serie de aportación anual en cada periodo y recurso disponible para la D. H. del Cantábrico Occidental. HadAM3-FIC-A2

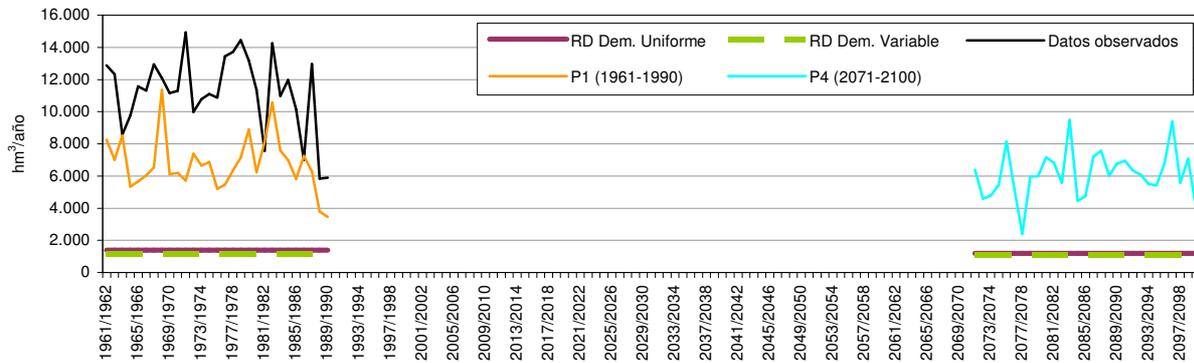


Figura 115. Serie de aportación anual en cada periodo y recurso disponible para la D. H. del Cantábrico Occidental. HadAM3-FIC-B2

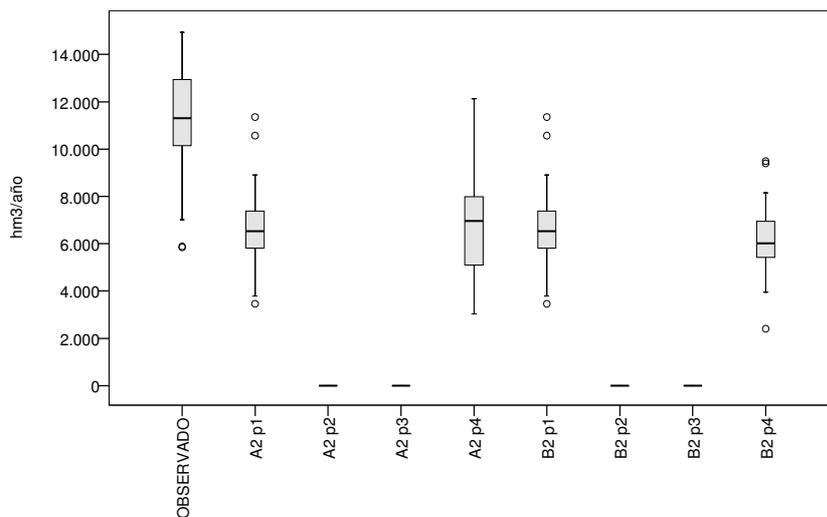


Figura 116. Diagrama de cajas de las series de aportación anual. D. H. del Cantábrico Occidental. HadAM3-FIC (A2 y B2)

1.6. Proyección HadCM3-PROMES

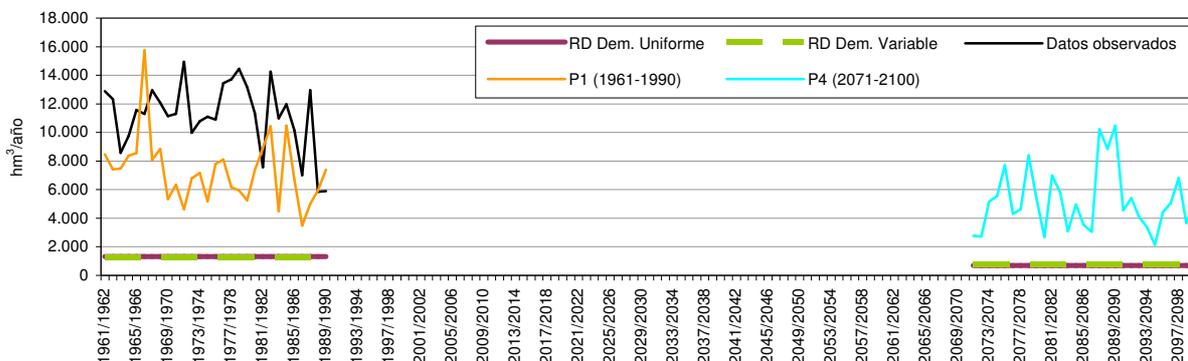


Figura 117. Serie de aportación anual en cada periodo y recurso disponible para la D. H. del Cantábrico Occidental. HadCM3-PROMES-A2

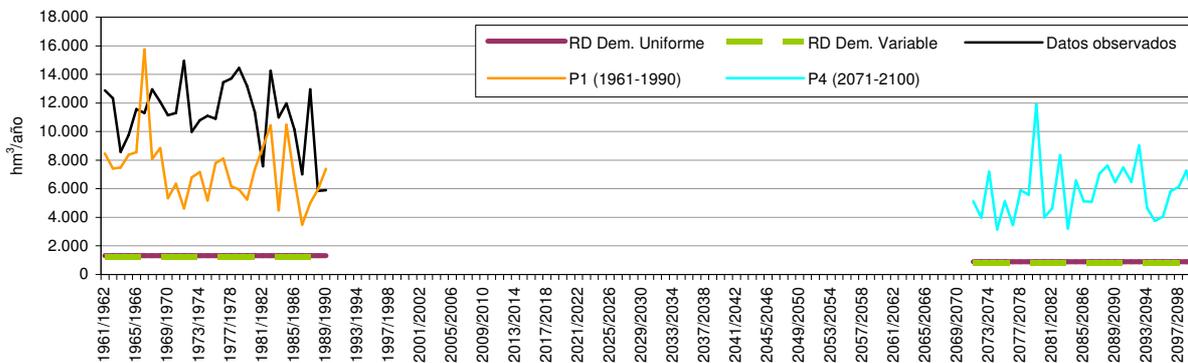


Figura 118. Serie de aportación anual en cada periodo y recurso disponible para la D. H. del Cantábrico Occidental. HadCM3-PROMES-B2

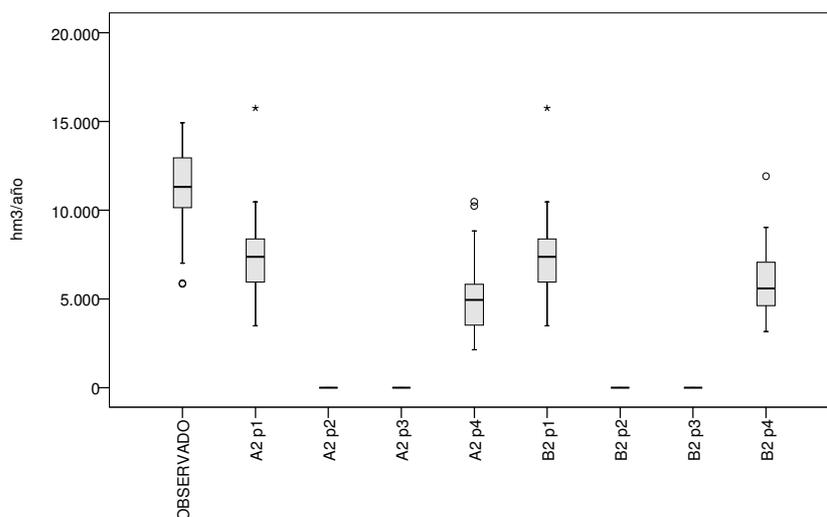


Figura 119. Diagrama de cajas de las series de aportación anual. D. H. del Cantábrico Occidental. HadCM3-PROMES (A2 y B2)

2. DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DEL CANTÁBRICO ORIENTAL

2.1. Proyección CGCM2-FIC

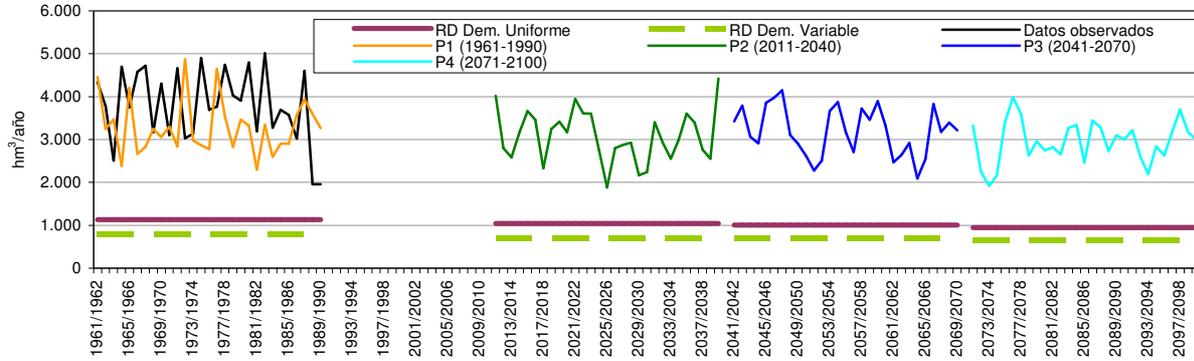


Figura 120. Serie de aportación anual en cada periodo y recurso disponible para la D. H. del Cantábrio Oriental. CGCM2-FIC-A2

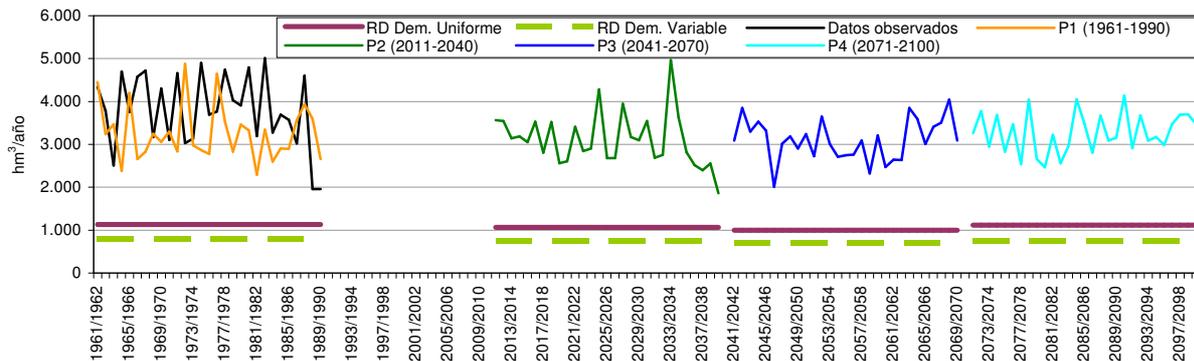


Figura 121. Serie de aportación anual en cada periodo y recurso disponible para la D. H. del Cantábrio Oriental. CGCM2-FIC-B2

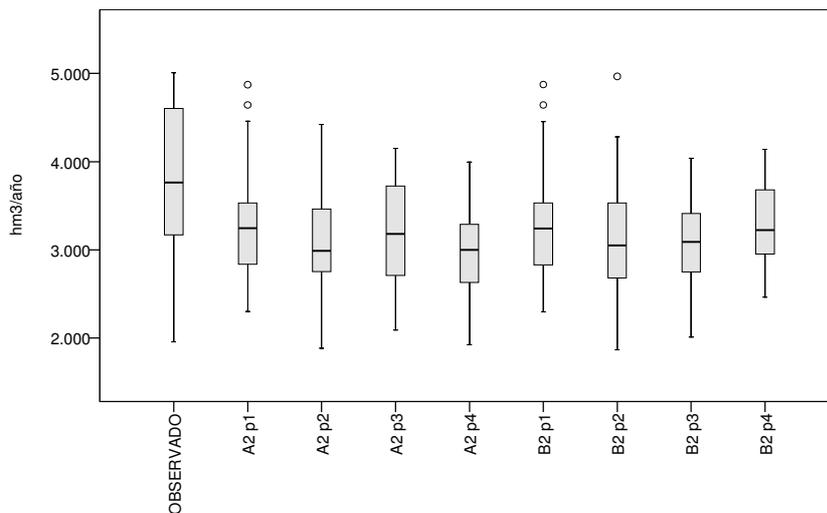


Figura 122. Diagrama de cajas de las series de aportación anual. D. H. del Cantábrio Oriental. CGCM2-FIC (A2 y B2)

2.2. Proyección ECHAM4-FIC

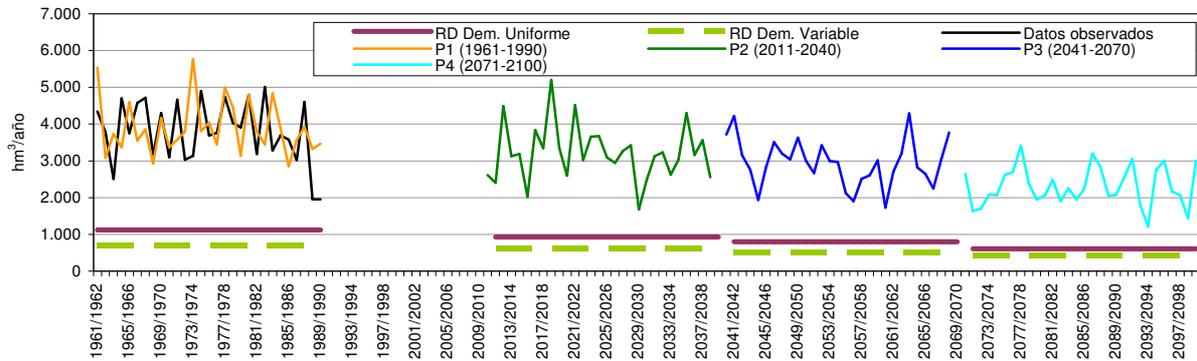


Figura 123. Serie de aportación anual en cada periodo y recurso disponible para la D. H. del Cantábrico Oriental. ECHAM4-FIC-A2

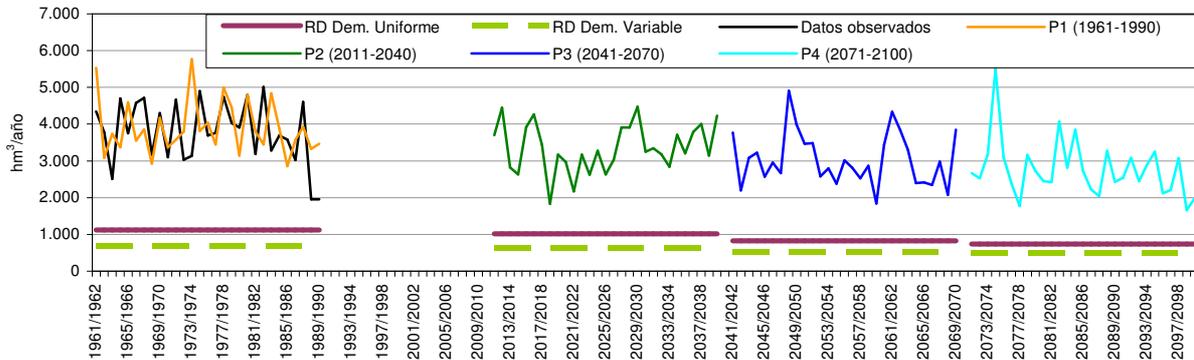


Figura 124. Serie de aportación anual en cada periodo y recurso disponible para la D. H. del Cantábrico Oriental. ECHAM4-FIC-B2

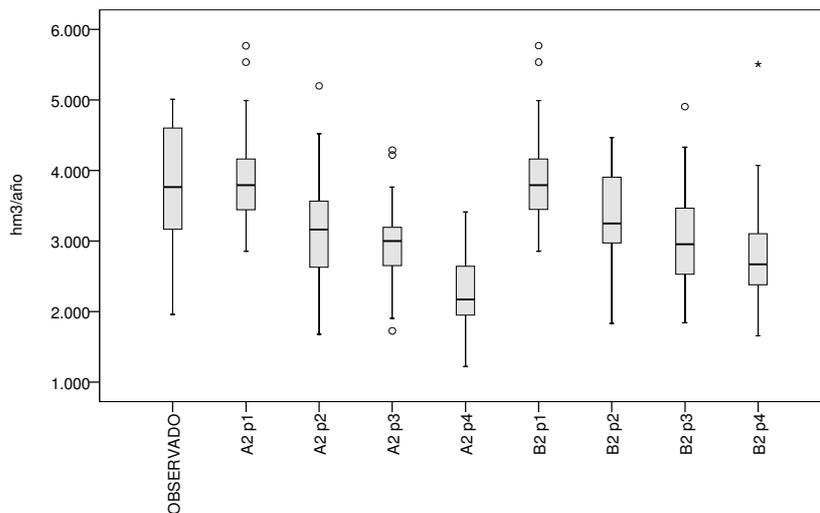


Figura 125. Diagrama de cajas de las series de aportación anual. D. H. del Cantábrico Oriental. ECHAM4-FIC (A2 y B2)



2.3. Proyección HadCM3-SDSM

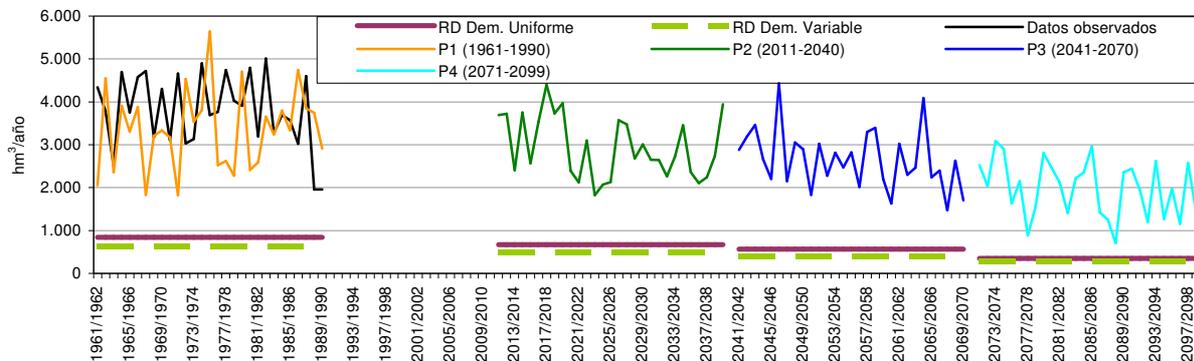


Figura 126. Serie de aportación anual en cada periodo y recurso disponible para la D. H. del Cantábrico Oriental. HadCM3-SDSM-A2

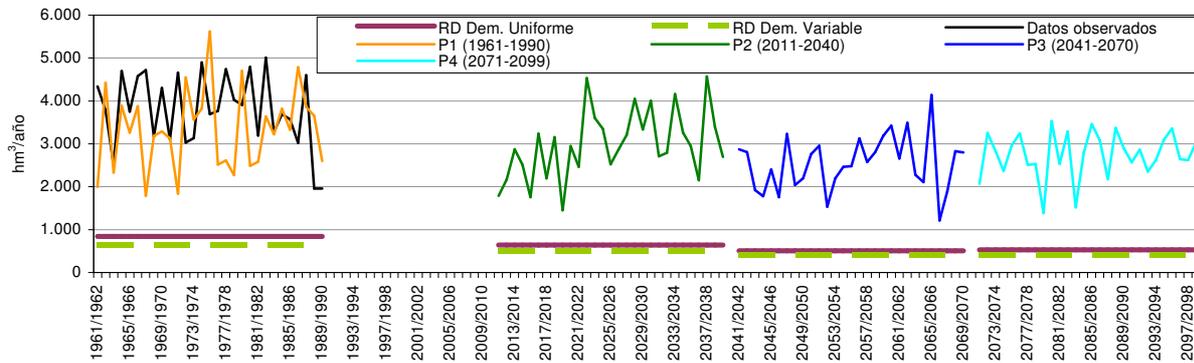


Figura 127. Serie de aportación anual en cada periodo y recurso disponible para la D. H. del Cantábrico Oriental. HadCM3-SDSM-B2

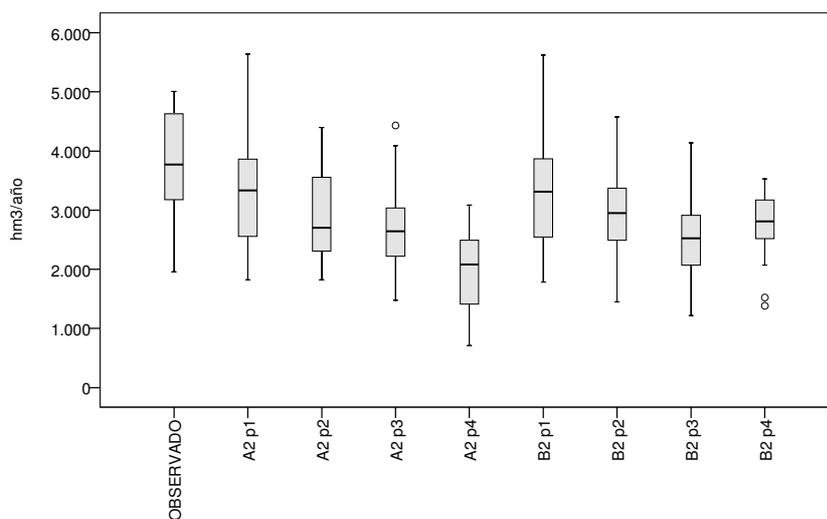


Figura 128. Diagrama de cajas de las series de aportación anual. D. H. del Cantábrico Oriental. HadCM3-SDSM (A2 y B2)

2.4. Proyección ECHAM4-RCAO

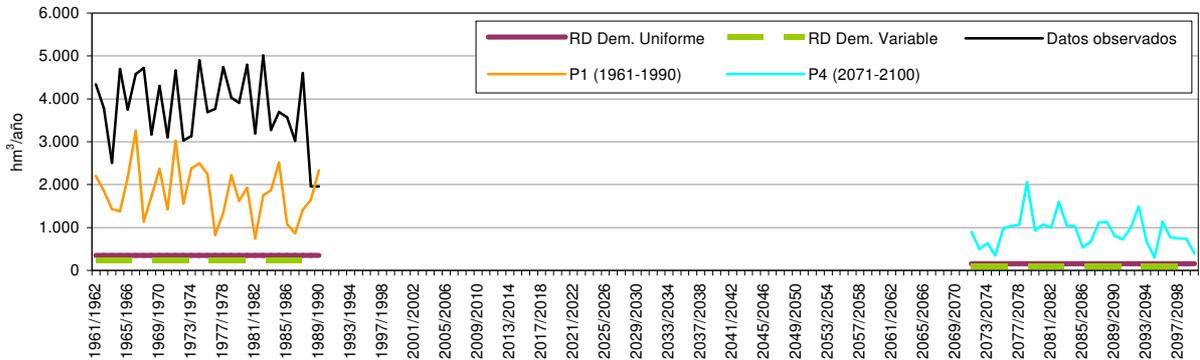


Figura 129. Serie de aportación anual en cada periodo y recurso disponible para la D. H. del Cantábrico Oriental. ECHAM4-RCAO-A2

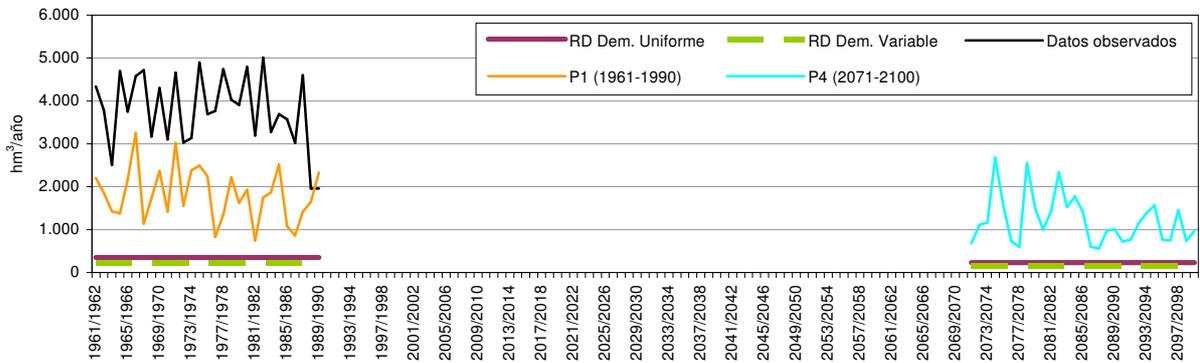


Figura 130. Serie de aportación anual en cada periodo y recurso disponible para la D. H. del Cantábrico Oriental. ECHAM4-RCAO-B2

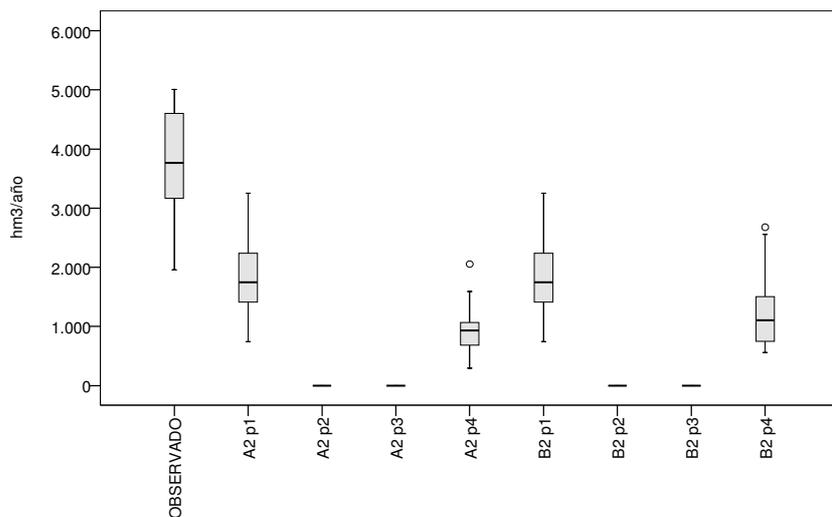


Figura 131. Diagrama de cajas de las series de aportación anual. D. H. del Cantábrico Oriental. ECHAM4-RCAO (A2 y B2)

2.5. Proyección HadAM3-FIC

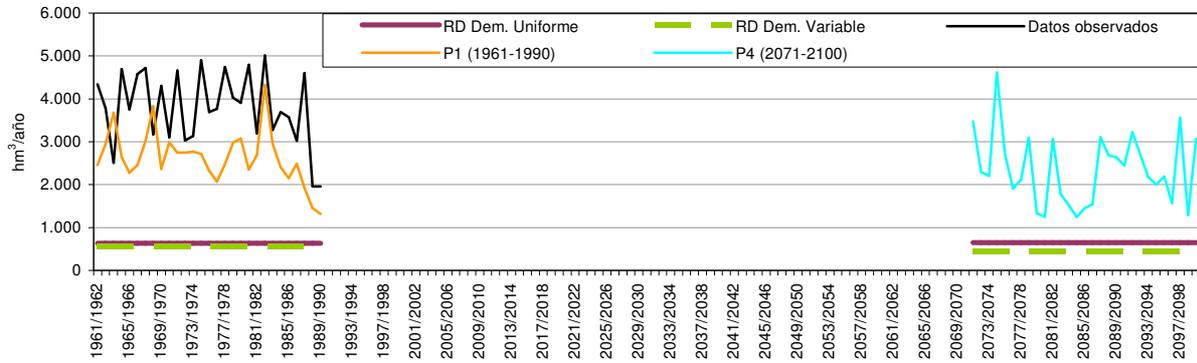


Figura 132. Serie de aportación anual en cada periodo y recurso disponible para la D. H. del Cantábrico Oriental. HadAM3-FIC-A2

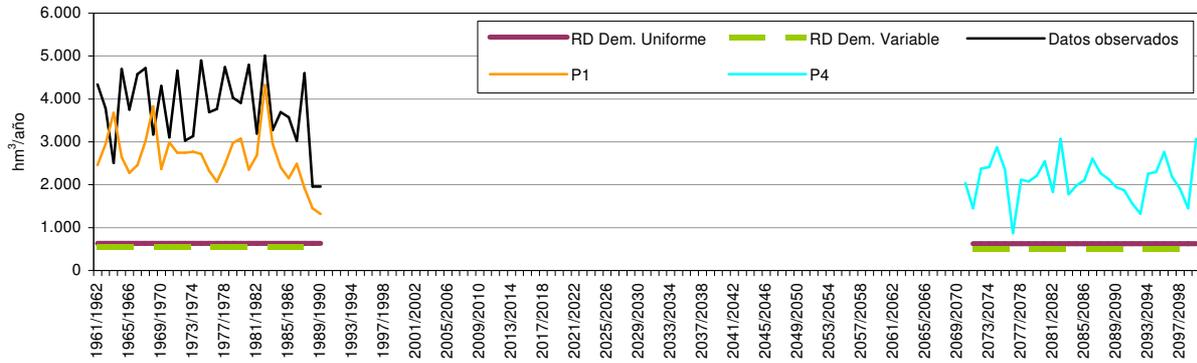


Figura 133. Serie de aportación anual en cada periodo y recurso disponible para la D. H. del Cantábrico Oriental. HadAM3-FIC-B2

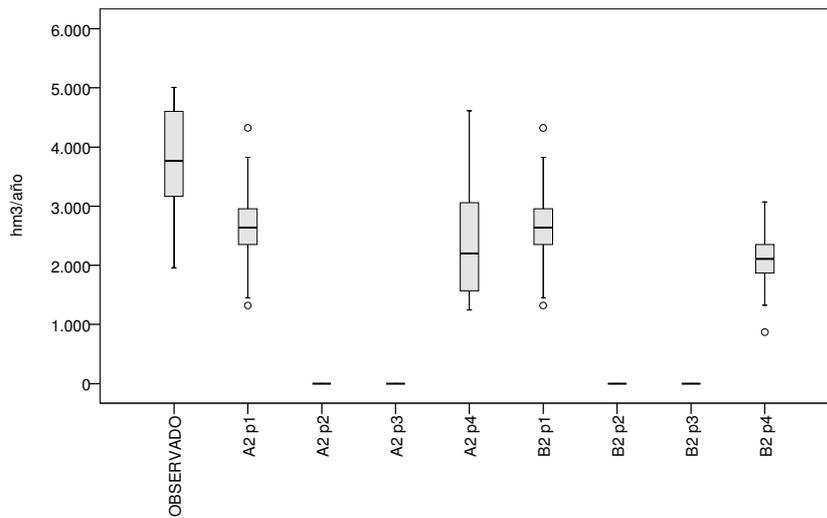


Figura 134. Diagrama de cajas de las series de aportación anual. D. H. del Cantábrico Oriental. HadAM3-FIC (A2 y B2)

2.6. Proyección HadCM3-PROMES

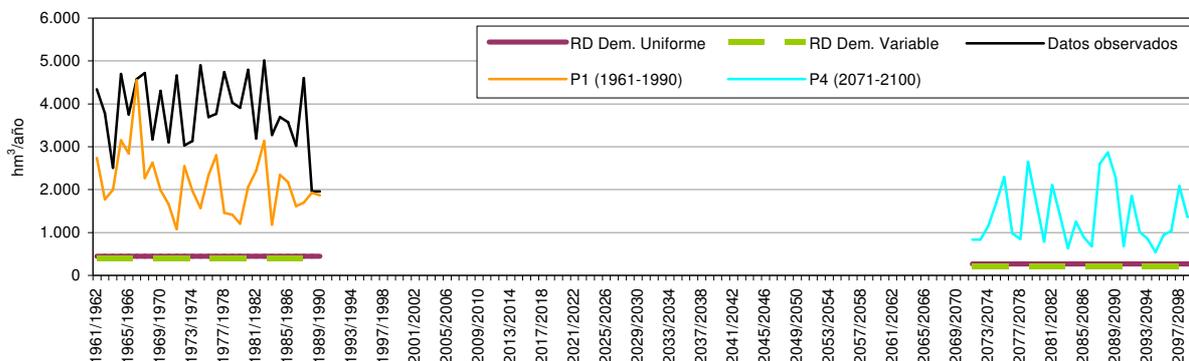


Figura 135. Serie de aportación anual en cada periodo y recurso disponible para la D. H. del Cantábrico Oriental. HadCM3-PROMES-A2

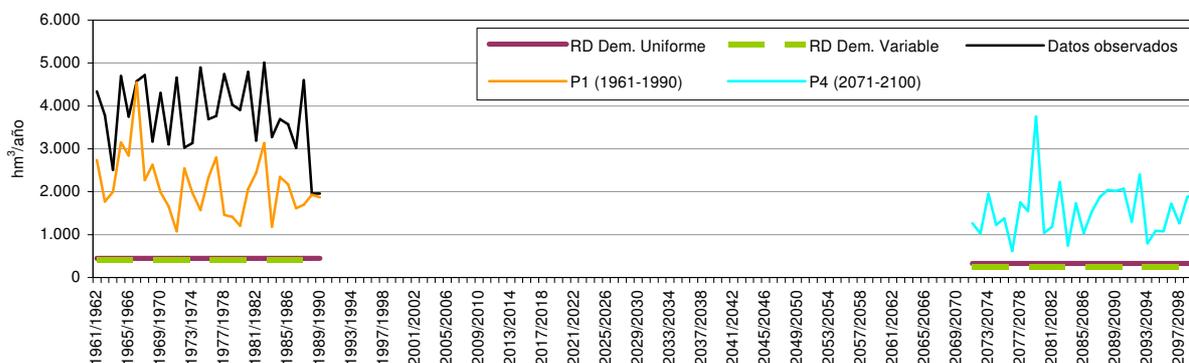


Figura 136. Serie de aportación anual en cada periodo y recurso disponible para la D. H. del Cantábrico Oriental. HadCM3-PROMES-B2

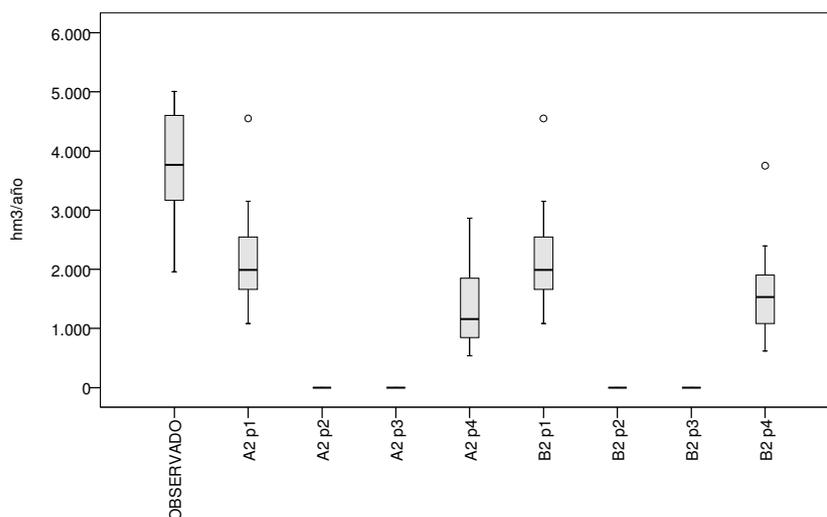


Figura 137. Diagrama de cajas de las series de aportación anual. D. H. del Cantábrico Oriental. HadCM3-PROMES (A2 y B2)



3. DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DEL MIÑO-SIL

3.1. Proyección CGCM2-FIC

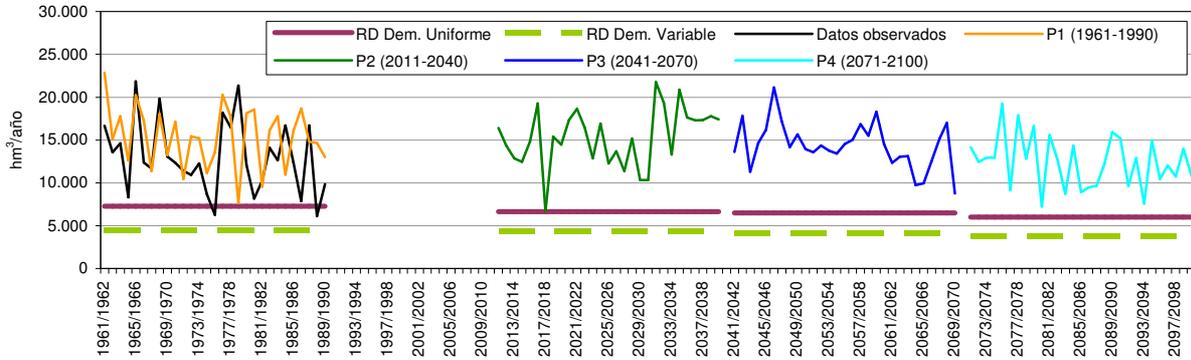


Figura 138. Serie de aportación anual en cada periodo y recurso disponible para la D. H. del Miño-Sil. CGCM2-FIC-A2

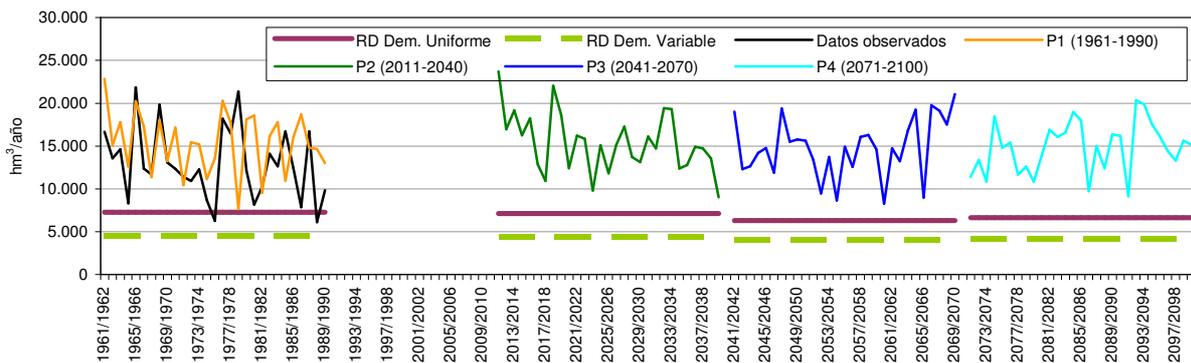


Figura 139. Serie de aportación anual en cada periodo y recurso disponible para la D. H. del Miño-Sil. CGCM2-FIC-B2

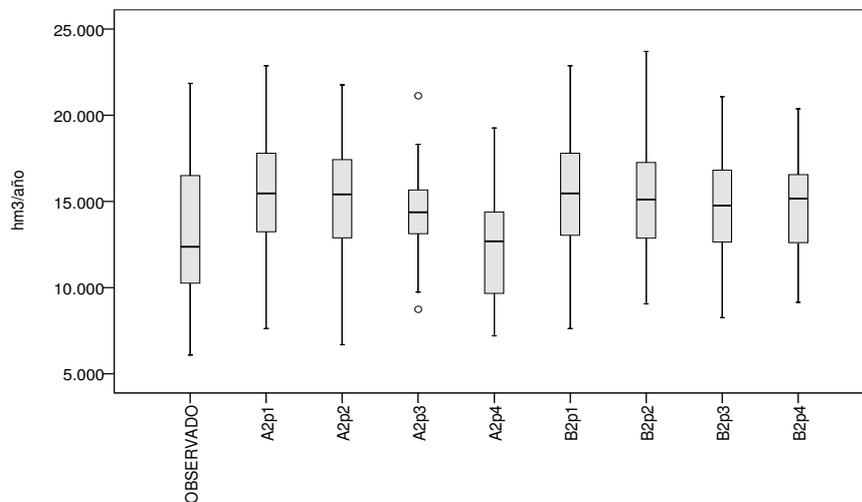


Figura 140. Diagrama de cajas de las series de aportación anual. D. H. del Miño-Sil. CGCM2-FIC (A2 y B2)

3.2. Proyección ECHAM4-FIC

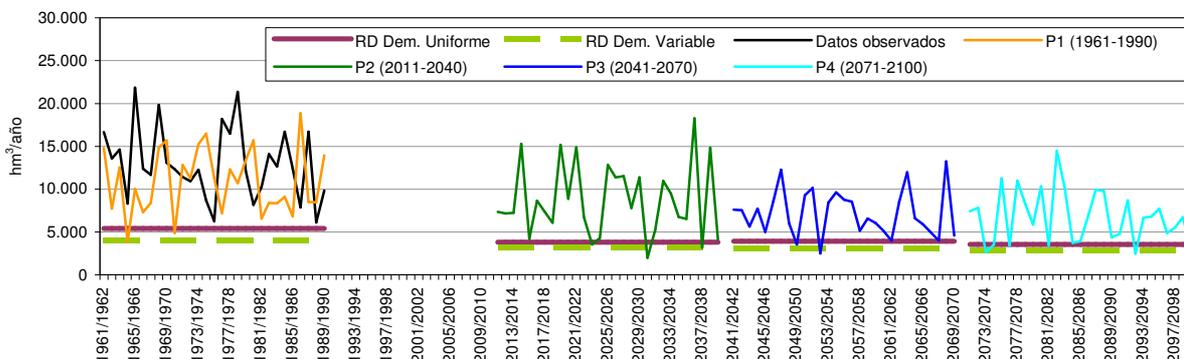


Figura 141. Serie de aportación anual en cada periodo y recurso disponible para la D. H. del Miño-Sil. ECHAM4-FIC-A2

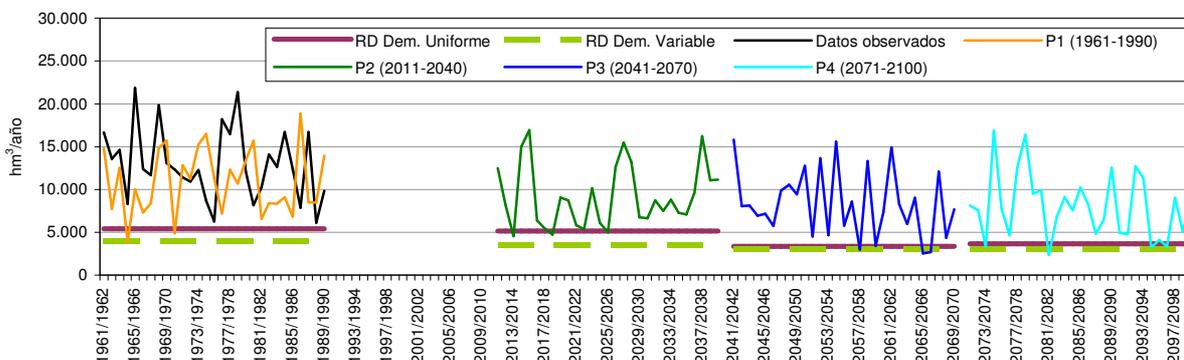


Figura 142. Serie de aportación anual en cada periodo y recurso disponible para la D. H. del Miño-Sil. ECHAM4-FIC-B2

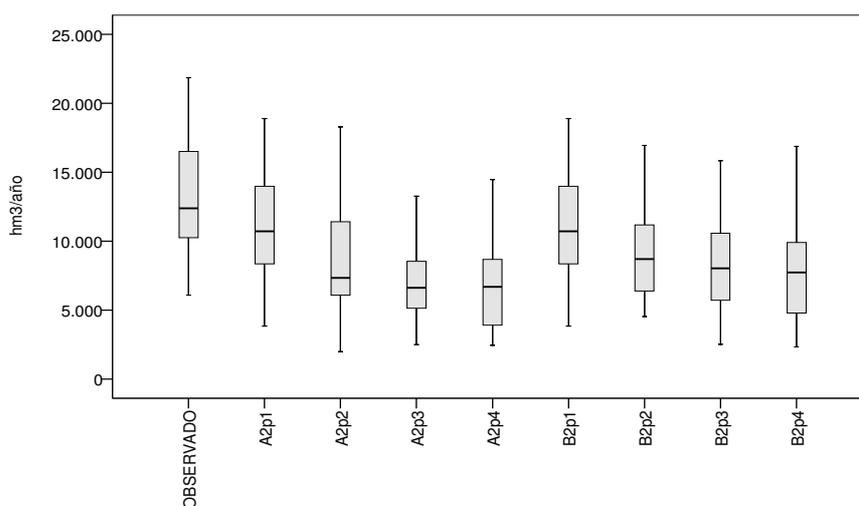


Figura 143. Diagrama de cajas de las series de aportación anual. D. H. del Miño-Sil. ECHAM4-FIC (A2 y B2)



3.3. Proyección HadCM3-SDSM

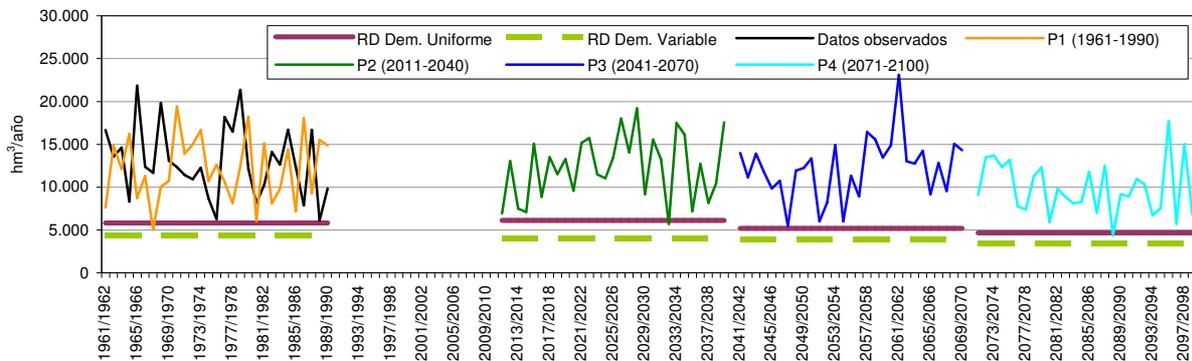


Figura 144. Serie de aportación anual en cada periodo y recurso disponible para la D. H. del Miño-Sil. HadCM3-SDSM-A2

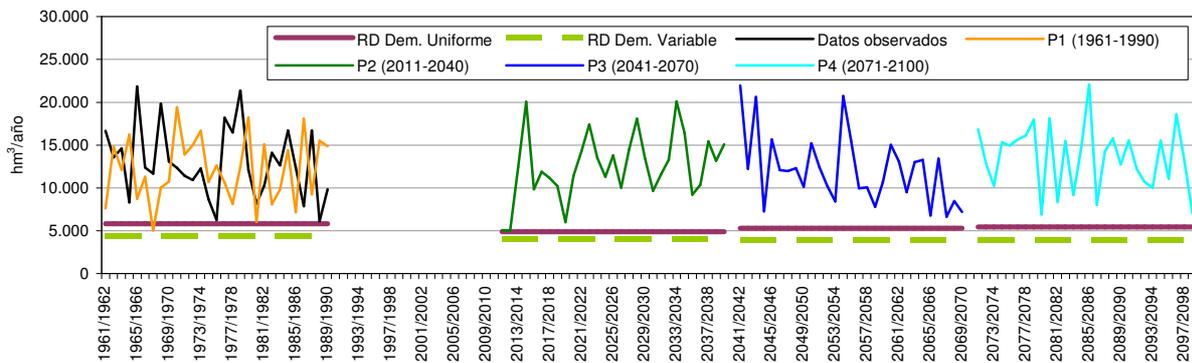


Figura 145. Serie de aportación anual en cada periodo y recurso disponible para la D. H. del Miño-Sil. HadCM3-SDSM-B2

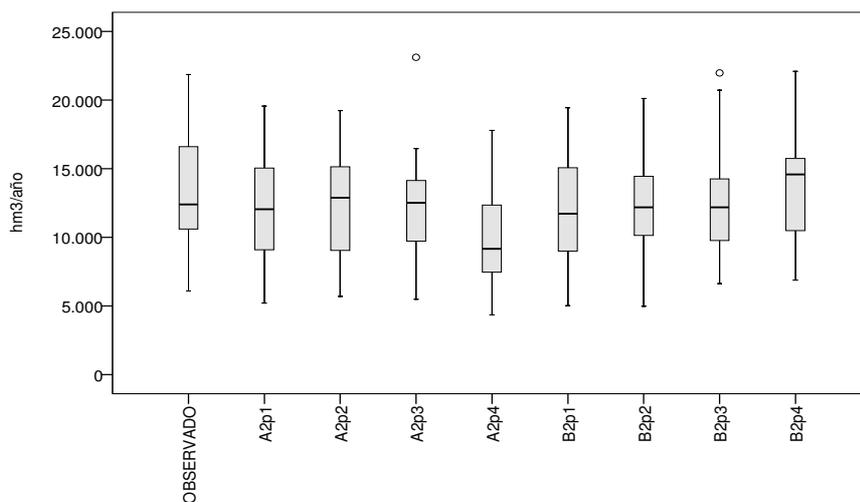


Figura 146. Diagrama de cajas de las series de aportación anual. D. H. del Miño-Sil. HadCM3-SDSM (A2 y B2)

3.4. Proyección ECHAM4-RCAO

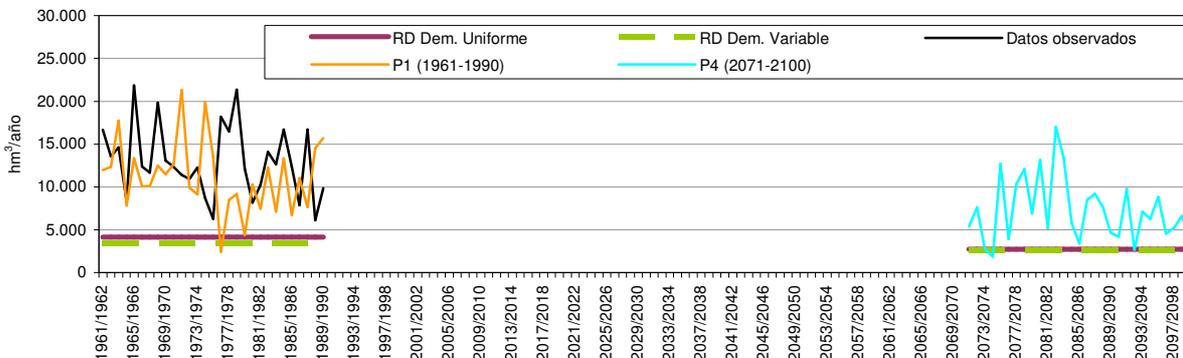


Figura 147. Serie de aportación anual en cada periodo y recurso disponible para la D. H. del Miño-Sil. ECHAM4-RCAO-A2

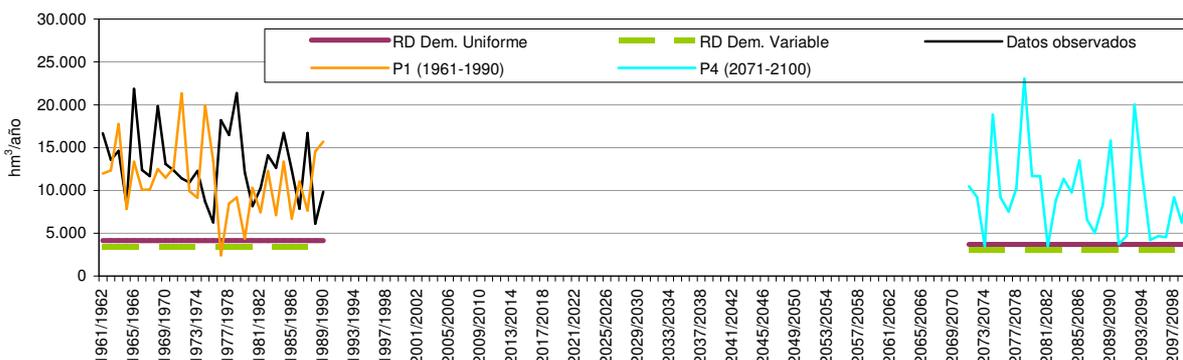


Figura 148. Serie de aportación anual en cada periodo y recurso disponible para la D. H. del Miño-Sil. ECHAM4-RCAO-B2

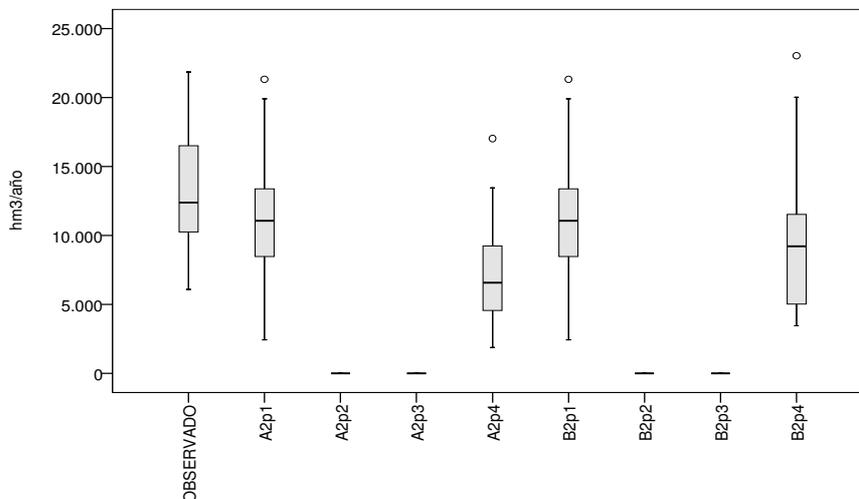


Figura 149. Diagrama de cajas de las series de aportación anual. D. H. del Miño-Sil. ECHAM4-RCAO (A2 y B2)



3.5. Proyección HadAM3-FIC

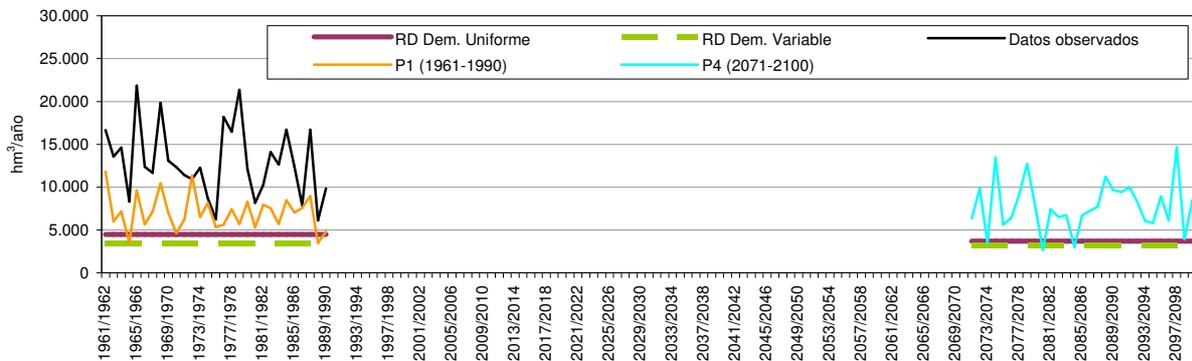


Figura 150. Serie de aportación anual en cada periodo y recurso disponible para la D. H. del Miño-Sil. HadAM3-FIC-A2

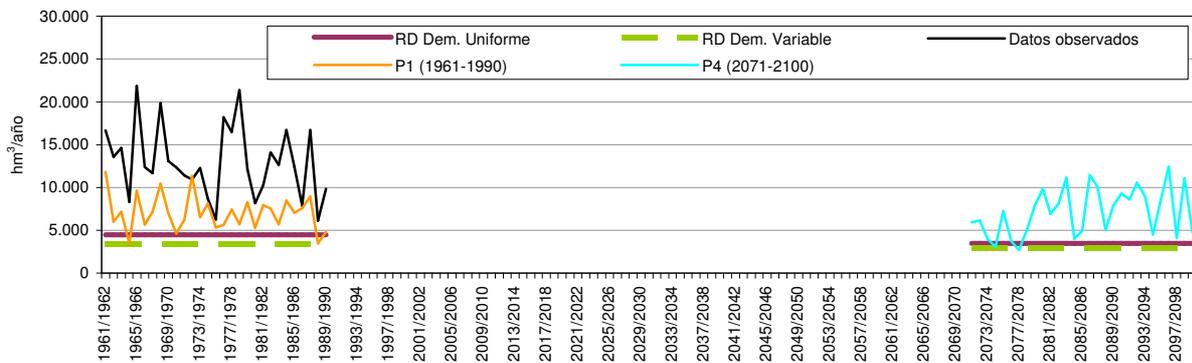


Figura 151. Serie de aportación anual en cada periodo y recurso disponible para la D. H. del Miño-Sil. HadAM3-FIC-B2

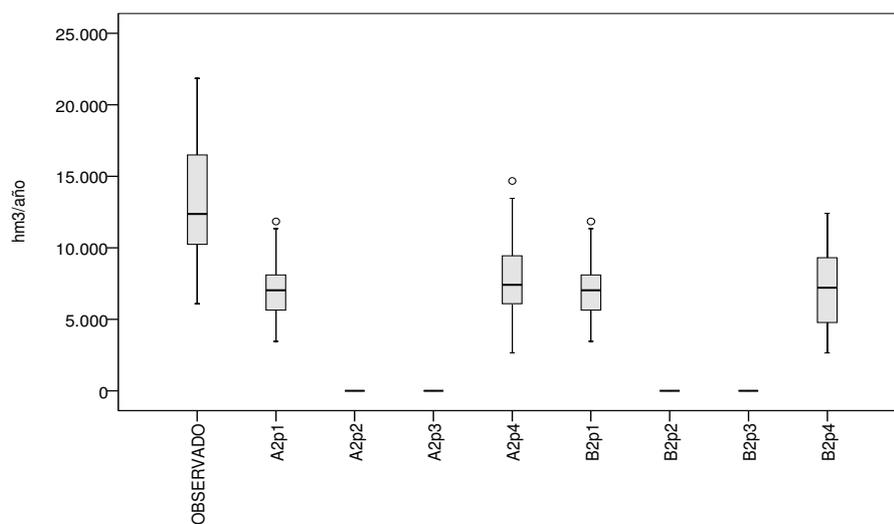


Figura 152. Diagrama de cajas de las series de aportación anual. D. H. del Miño-Sil. HadAM3-FIC (A2 y B2)

3.6. Proyección HadCM3-PROMES

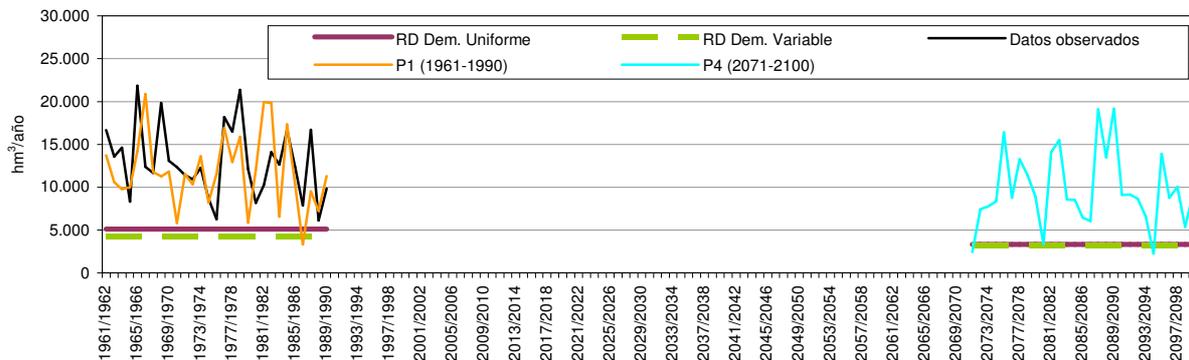


Figura 153. Serie de aportación anual en cada periodo y recurso disponible para la D. H. del Miño-Sil. HadCM3-PROMES-A2

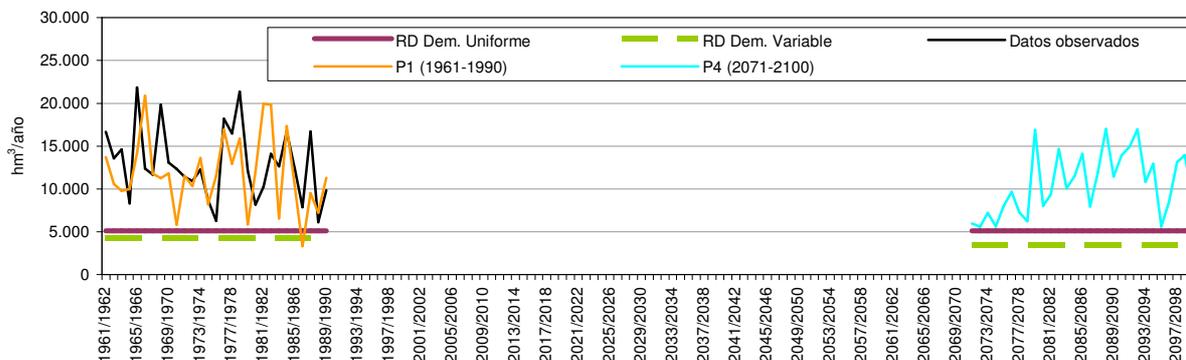


Figura 154. Serie de aportación anual en cada periodo y recurso disponible para la D. H. del Miño-Sil. HadCM3-PROMES-B2

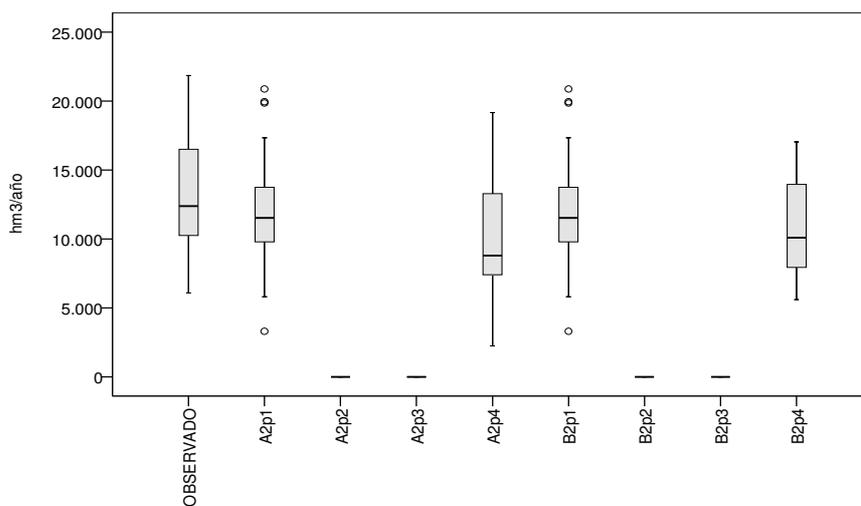


Figura 155. Diagrama de cajas de las series de aportación anual. D. H. del Miño-Sil. HadCM3-PROMES (A2 y B2)

4. DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DEL DUERO

4.1. Proyección CGCM2-FIC

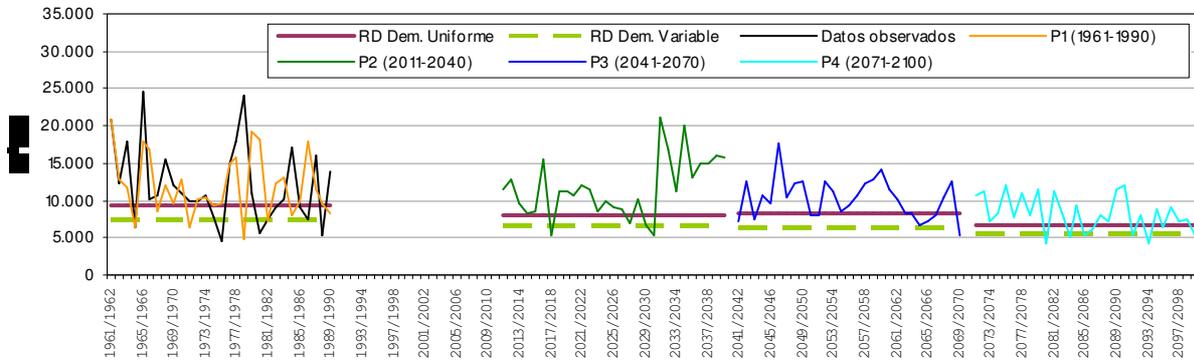


Figura 156. Serie de aportación anual en cada periodo y recurso disponible para la D. H. del Duero. CGCM2-FIC-A2

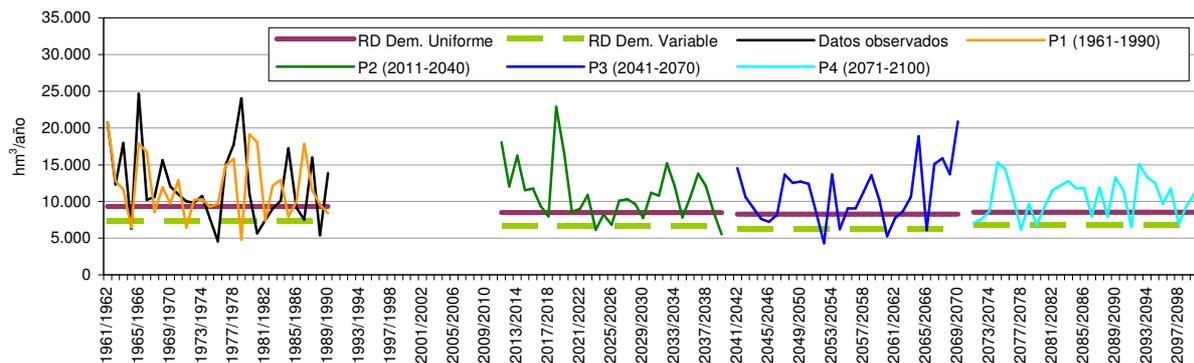


Figura 157. Serie de aportación anual en cada periodo y recurso disponible para la D. H. del Duero. CGCM2-FIC-B2

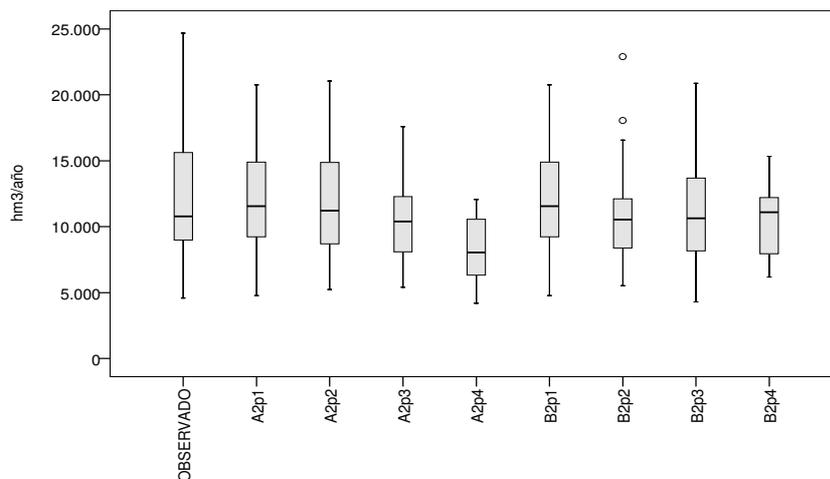


Figura 158. Diagrama de cajas de las series de aportación anual. D. H. del Duero. CGCM2-FIC (A2 y B2)

4.2. Proyección ECHAM4-FIC

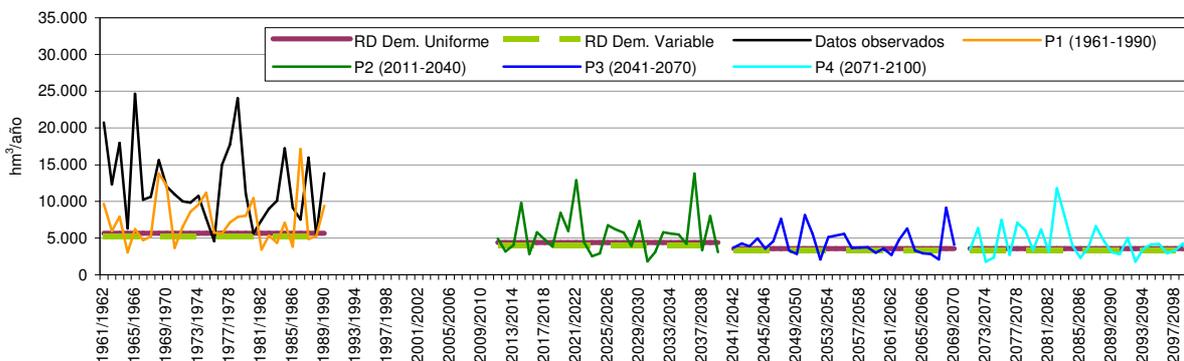


Figura 159. Serie de aportación anual en cada periodo y recurso disponible para la D. H. del Duero. ECHAM4-FIC-A2

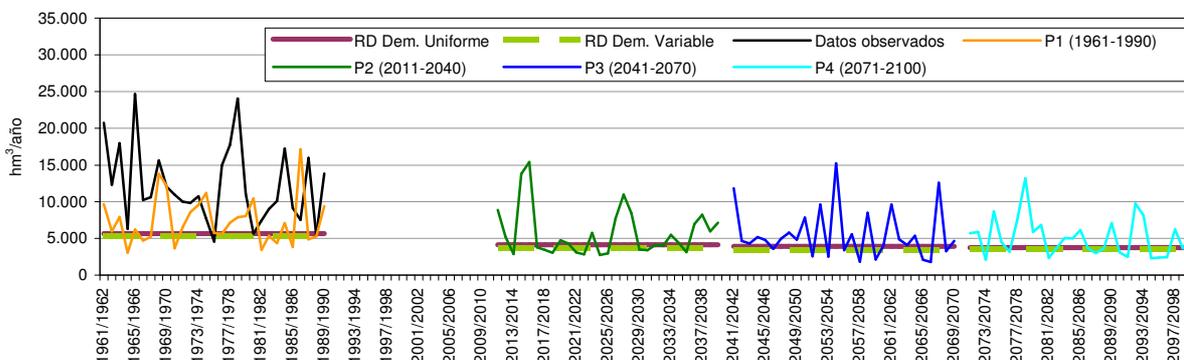


Figura 160. Serie de aportación anual en cada periodo y recurso disponible para la D. H. del Duero. ECHAM4-FIC-B2

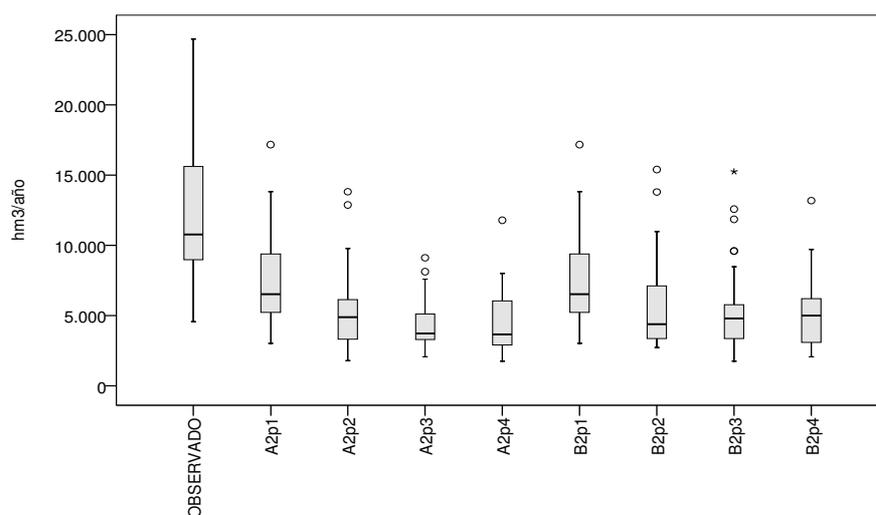


Figura 161. Diagrama de cajas de las series de aportación anual. D. H. del Duero. ECHAM4-FIC (A2 y B2)



4.3. Proyección HadCM3-SDSM

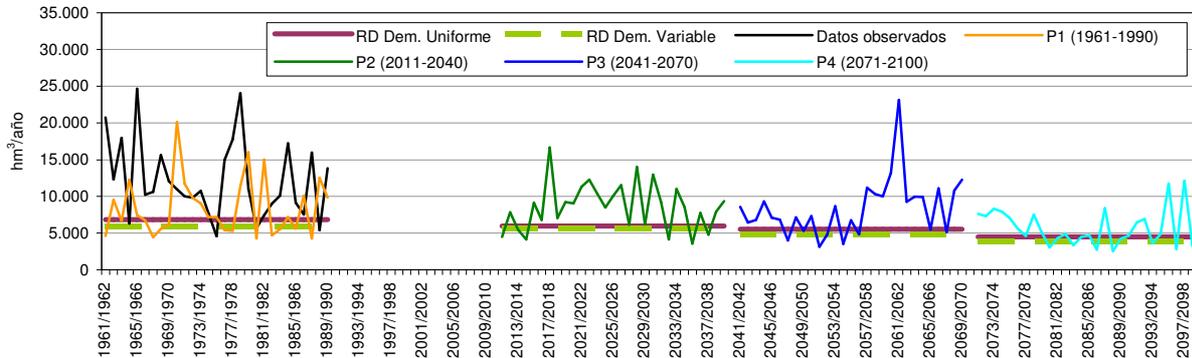


Figura 162. Serie de aportación anual en cada periodo y recurso disponible para la D. H. del Duero. HadCM3-SDSM-A2

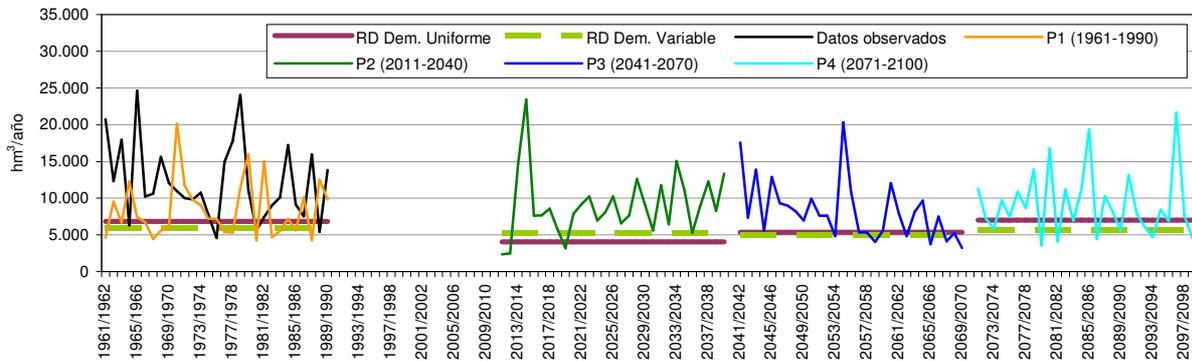


Figura 163. Serie de aportación anual en cada periodo y recurso disponible para la D. H. del Duero. HadCM3-SDSM-B2

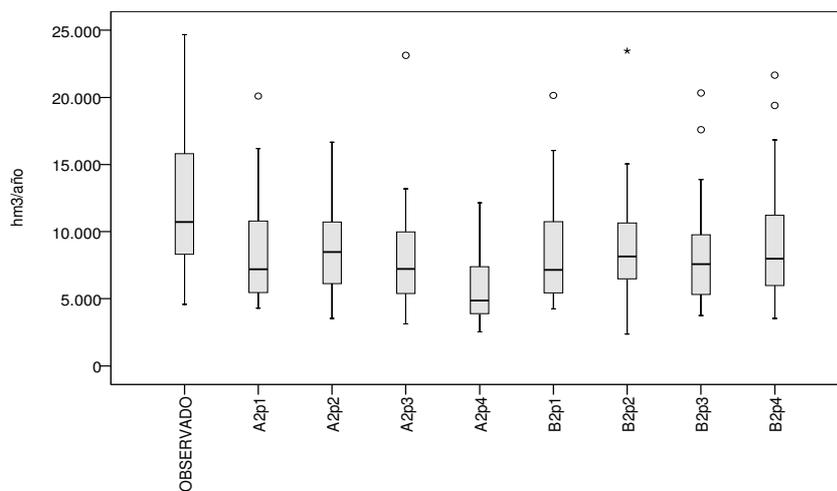


Figura 164. Diagrama de cajas de las series de aportación anual. D. H. del Duero. HadCM3-SDSM (A2 y B2)

4.4. Proyección ECHAM4-RCAO

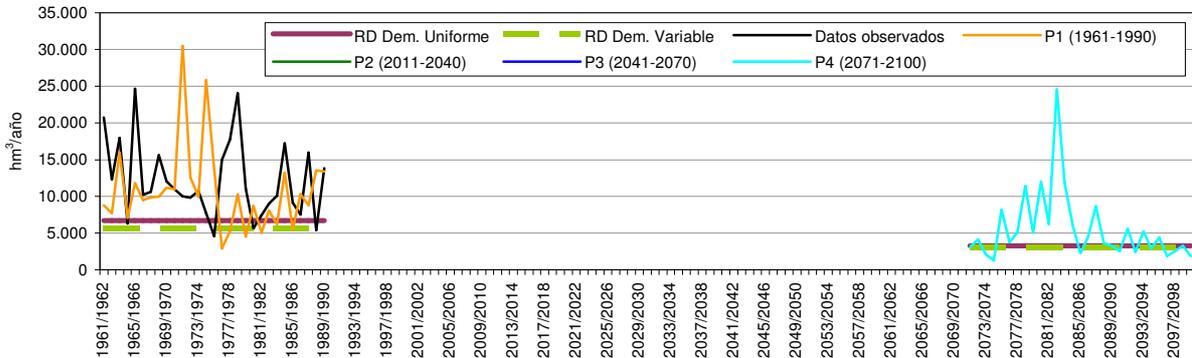


Figura 165. Serie de aportación anual en cada periodo y recurso disponible para la D. H. del Duero. ECHAM4-RCAO-A2

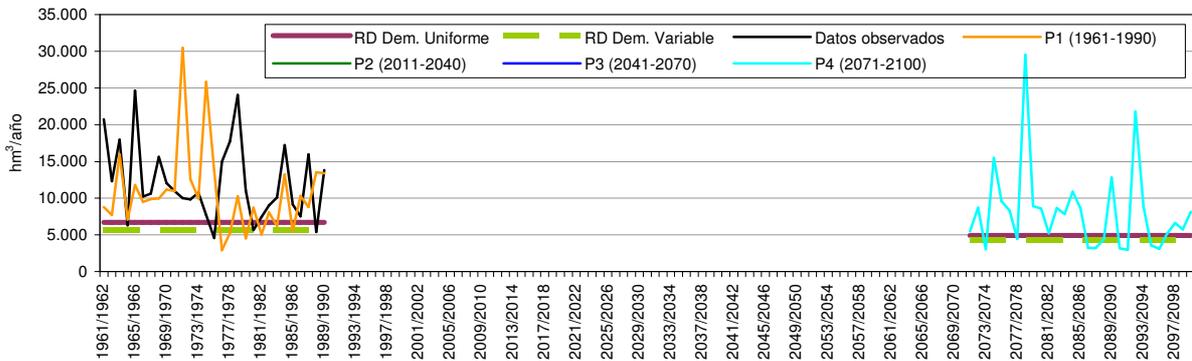


Figura 166. Serie de aportación anual en cada periodo y recurso disponible para la D. H. del Duero. ECHAM4-RCAO-B2

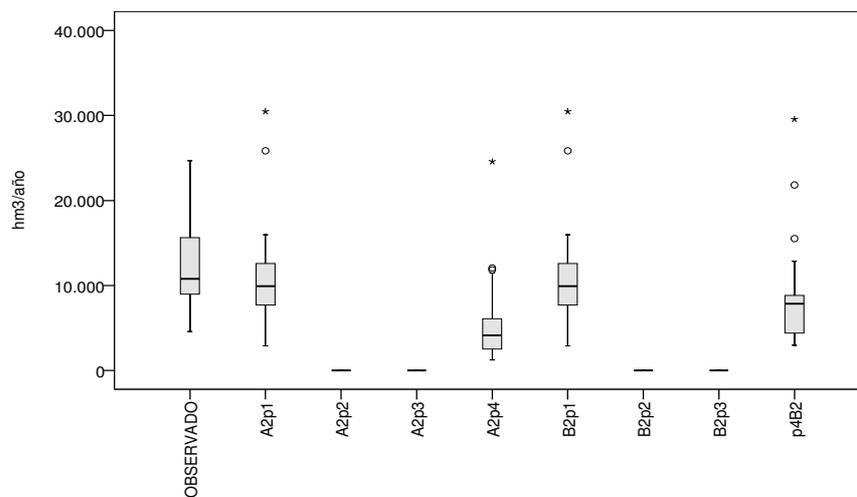


Figura 167. Diagrama de cajas de las series de aportación anual. D. H. del Duero. ECHAM4-RCAO (A2 y B2)



4.5. Proyección HadAM3-FIC

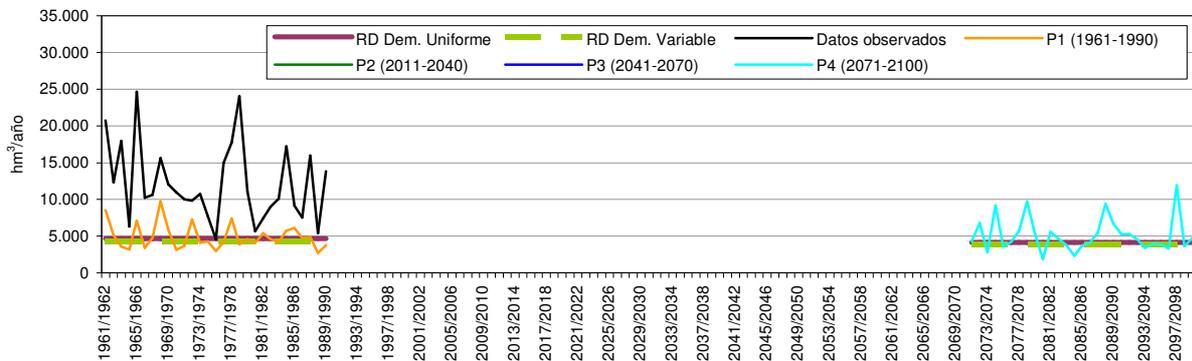


Figura 168. Serie de aportación anual en cada periodo y recurso disponible para la D. H. del Duero. HadAM3-FIC-A2

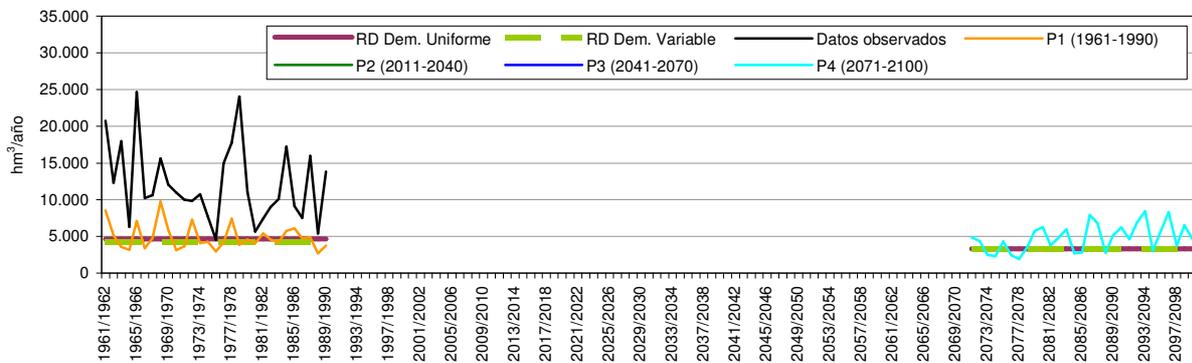


Figura 169. Serie de aportación anual en cada periodo y recurso disponible para la D. H. del Duero. HadAM3-FIC-B2

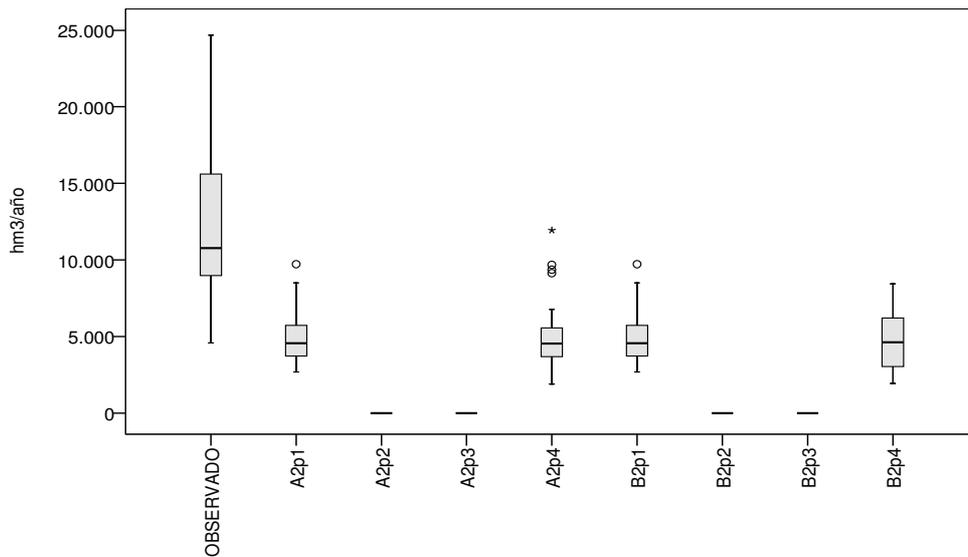


Figura 170. Diagrama de cajas de las series de aportación anual. D. H. del Duero. HadAM3-FIC (A2 y B2)

4.6. Proyección HadCM3-PROMES

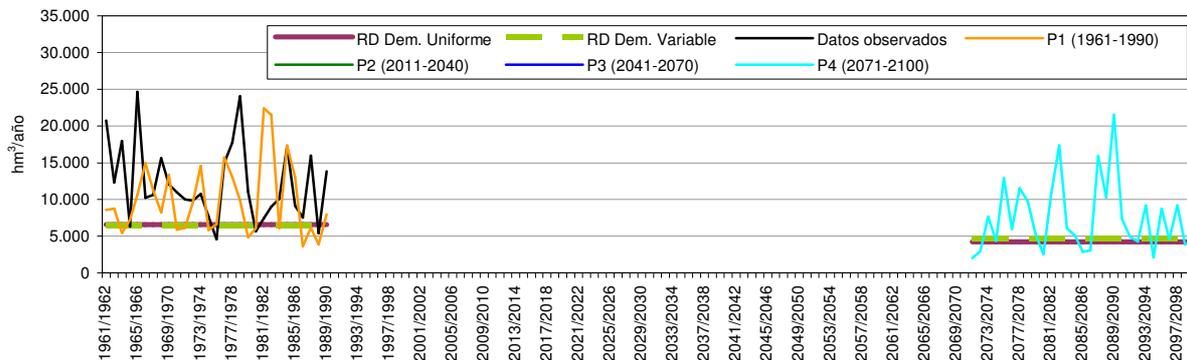


Figura 171. Serie de aportación anual en cada periodo y recurso disponible para la D. H. del Duero. HadCM3-PROMES-A2

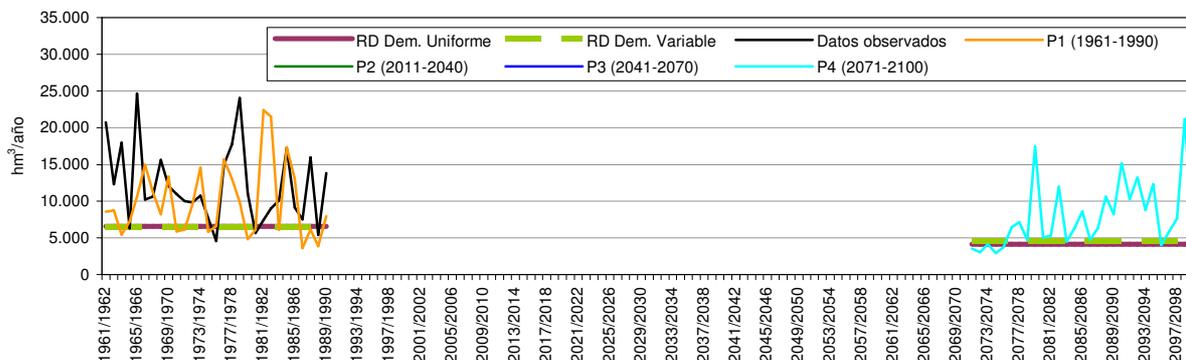


Figura 172. Serie de aportación anual en cada periodo y recurso disponible para la D. H. del Duero. HadCM3-PROMES-B2

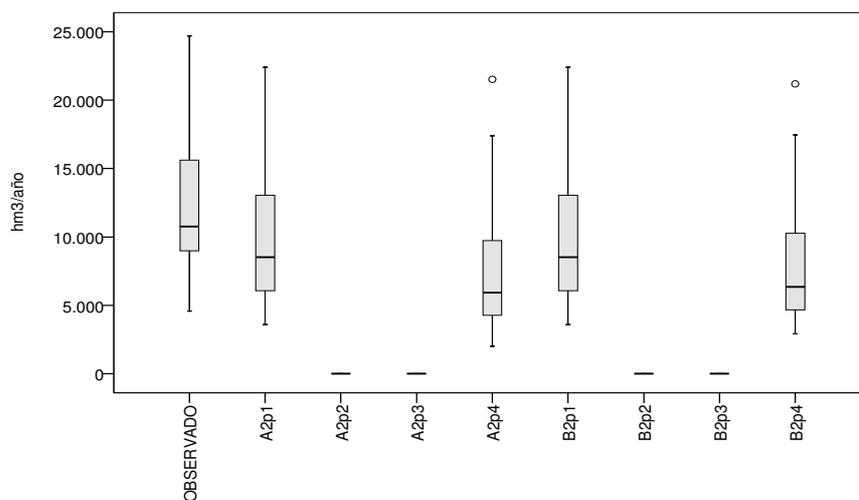


Figura 173. Diagrama de cajas de las series de aportación anual. D. H. del Duero. HadCM3-PROMES (A2 y B2)



5. DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DEL TAJO

5.1. Proyección CGCM2-FIC

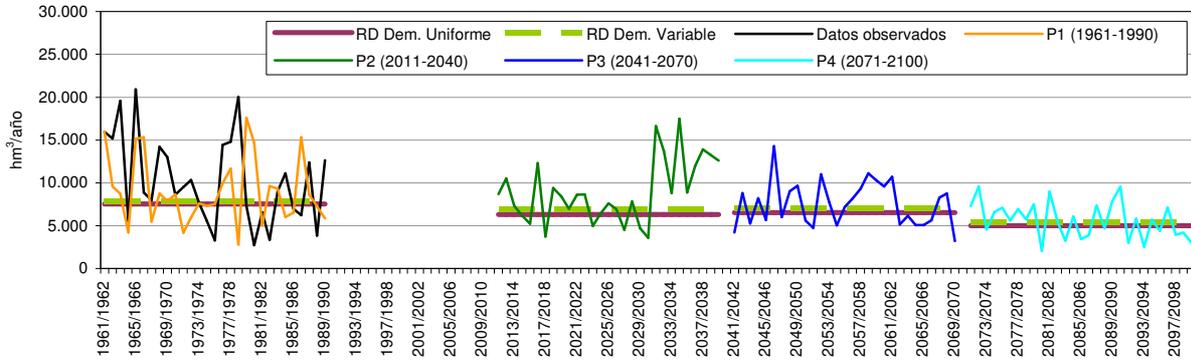


Figura 174. Serie de aportación anual en cada periodo y recurso disponible para la D. H. del Tajo. CGCM2-FIC-A2

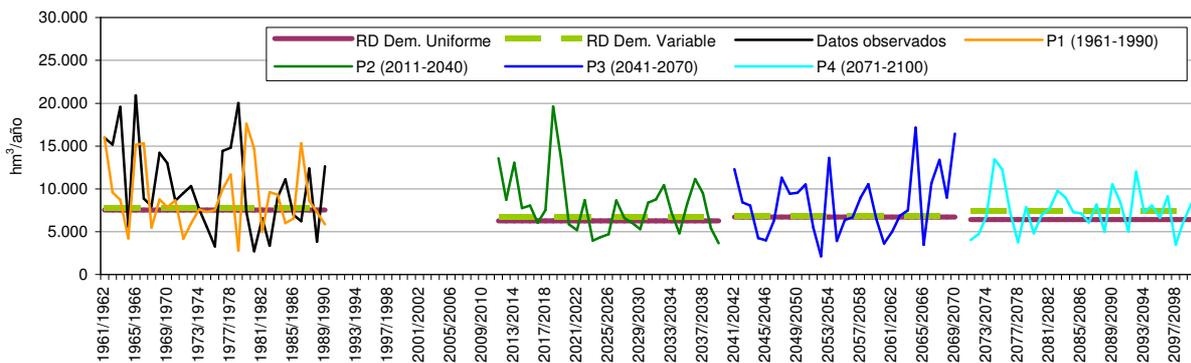


Figura 175. Serie de aportación anual en cada periodo y recurso disponible para la D. H. del Tajo. CGCM2-FIC-B2

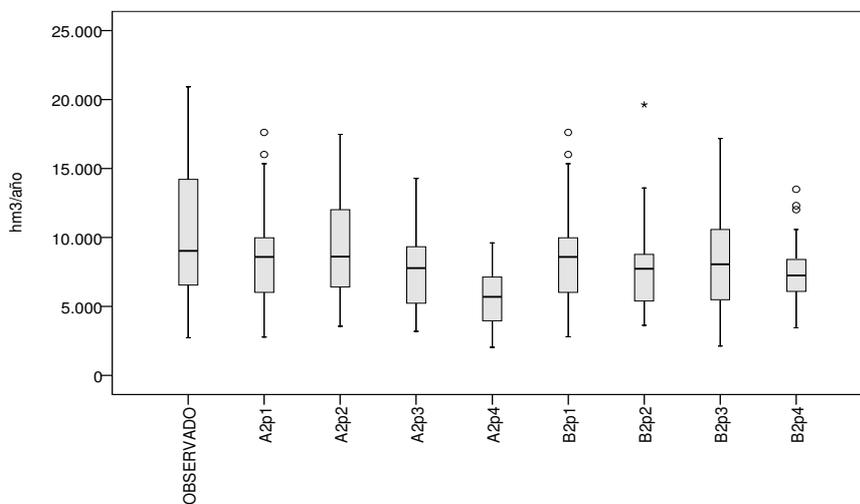


Figura 176. Diagrama de cajas de las series de aportación anual. D. H. del Tajo. CGCM2-FIC (A2 y B2)

5.2. Proyección ECHAM4-FIC

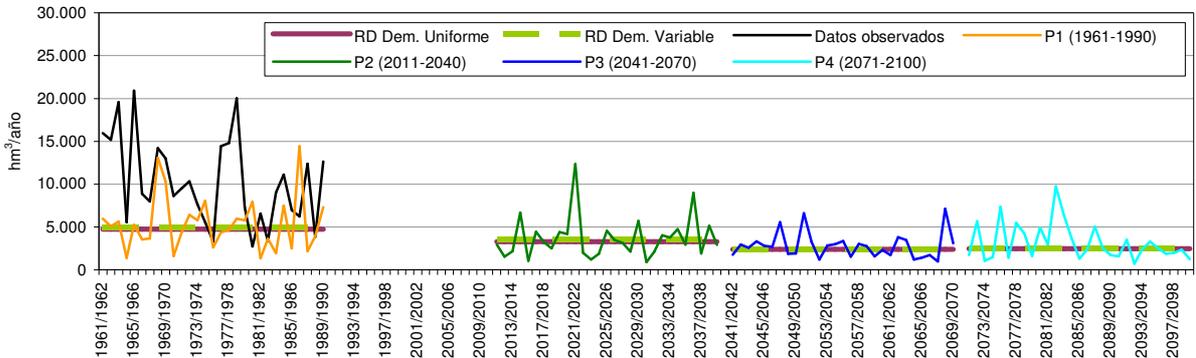


Figura 177. Serie de aportación anual en cada periodo y recurso disponible para la D. H. del Tajo. ECHAM4-FIC-A2

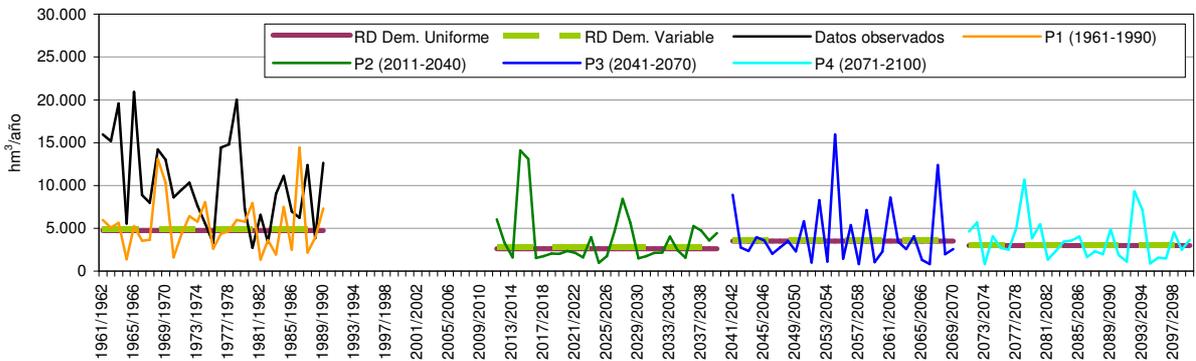


Figura 178. Serie de aportación anual en cada periodo y recurso disponible para la D. H. del Tajo. ECHAM4-FIC-B2

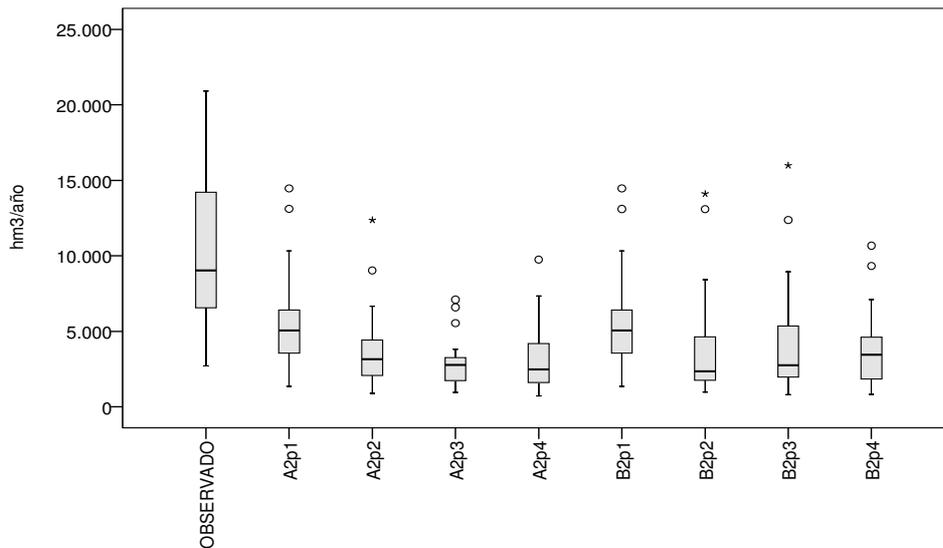


Figura 179. Diagrama de cajas de las series de aportación anual. D. H. del Tajo. ECHAM4-FIC (A2 y B2)



5.3. Proyección HadCM3-SDSM

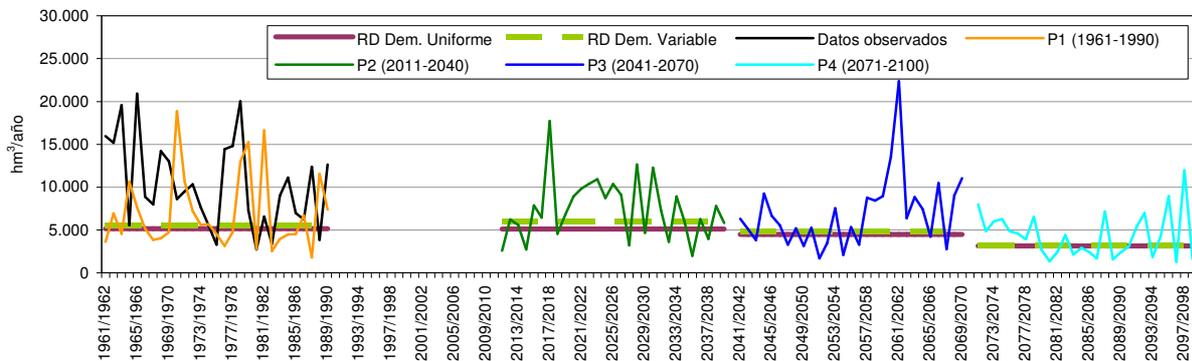


Figura 180. Serie de aportación anual en cada periodo y recurso disponible para la D. H. del Tajo. HadCM3-SDSM-A2

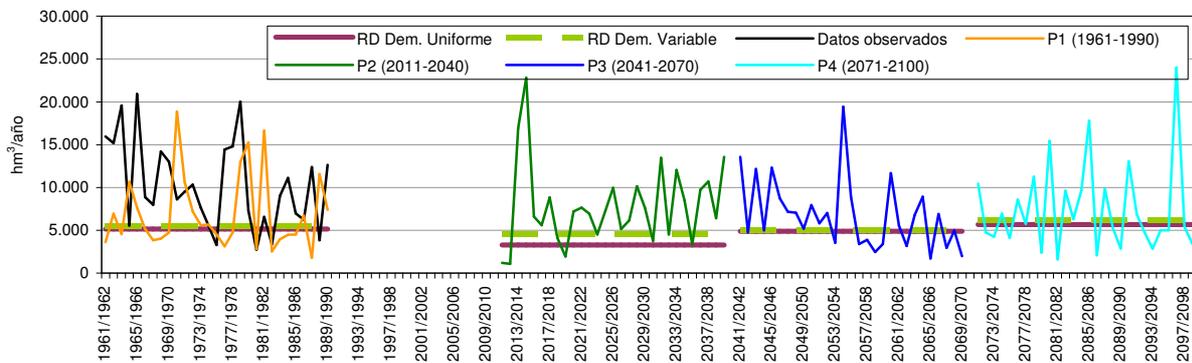


Figura 181. Serie de aportación anual en cada periodo y recurso disponible para la D. H. del Tajo. HadCM3-SDSM-B2

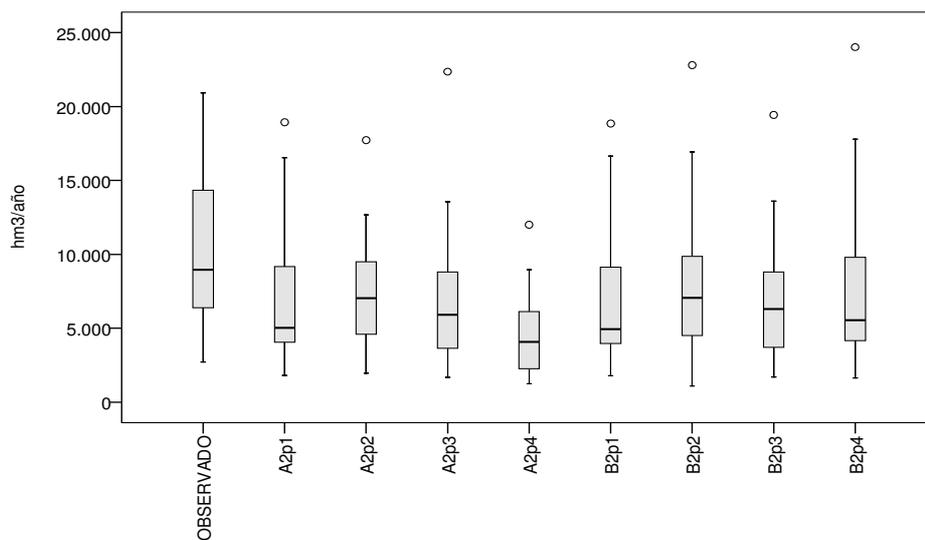


Figura 182. Diagrama de cajas de las series de aportación anual. D. H. del Tajo. HadCM3-SDSM (A2 y B2)

5.4. Proyección ECHAM4-RCAO

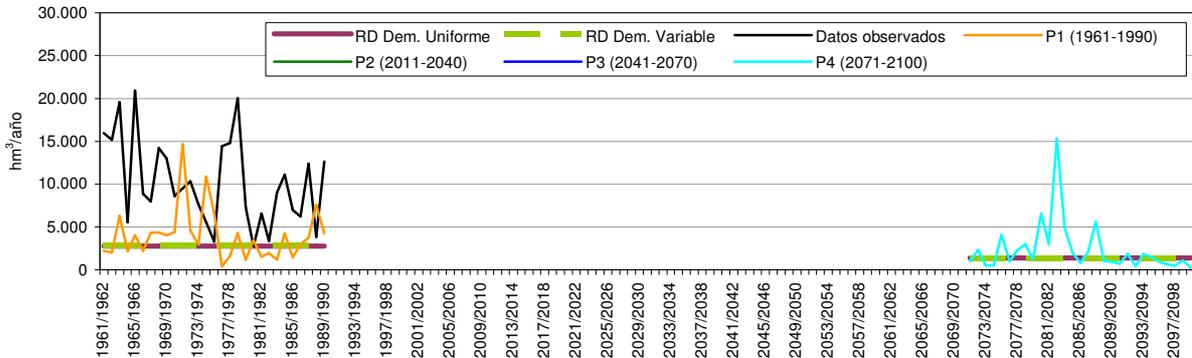


Figura 183. Serie de aportación anual en cada periodo y recurso disponible para la D. H. del Tajo. ECHAM4-RCAO-A2

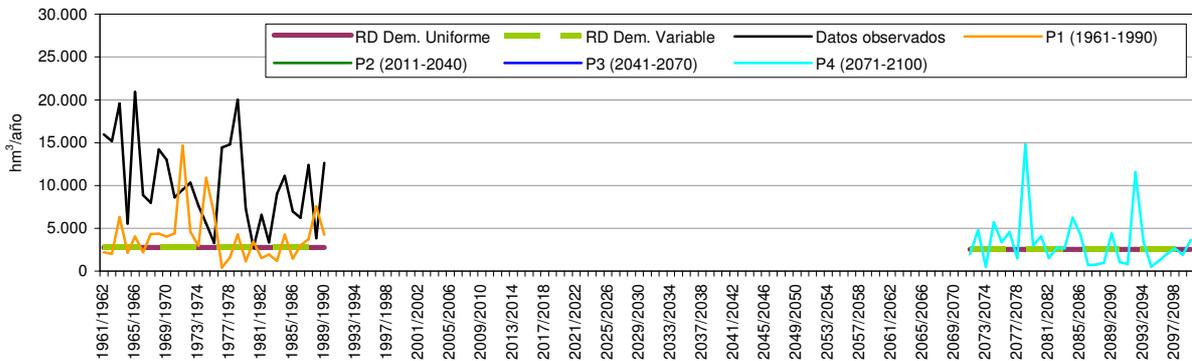


Figura 184. Serie de aportación anual en cada periodo y recurso disponible para la D. H. del Tajo. ECHAM4-RCAO-B2

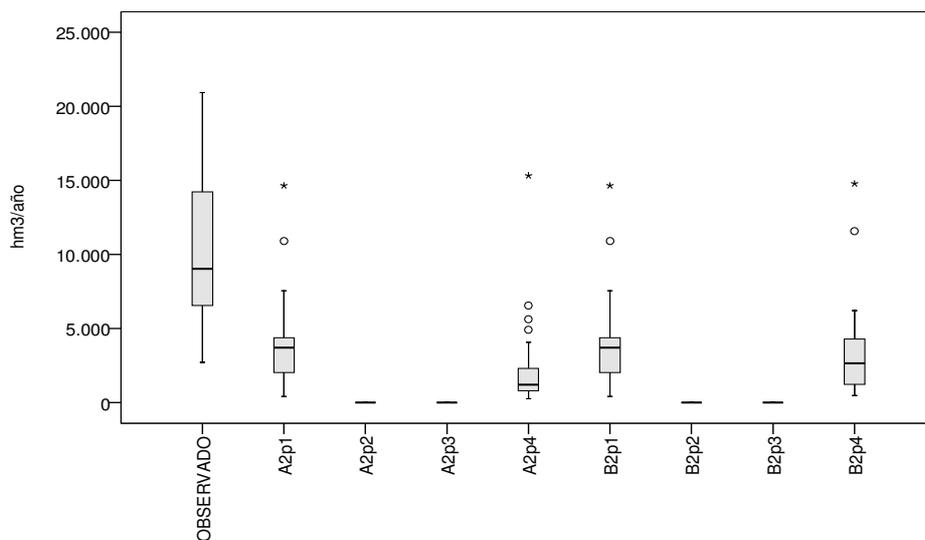


Figura 185. Diagrama de cajas de las series de aportación anual. D. H. del Tajo. ECHAM4-RCAO (A2 y B2)



5.5. Proyección HadAM3-FIC

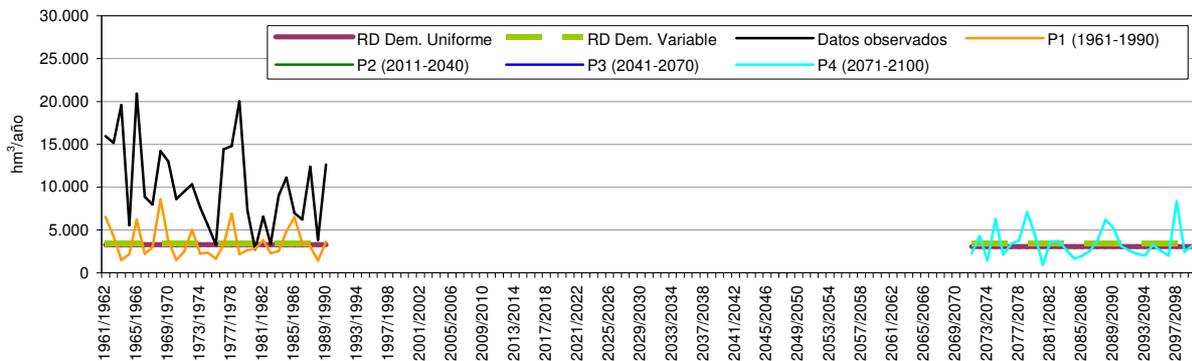


Figura 186. Serie de aportación anual en cada periodo y recurso disponible para la D. H. del Tajo. HadAM3-FIC-A2

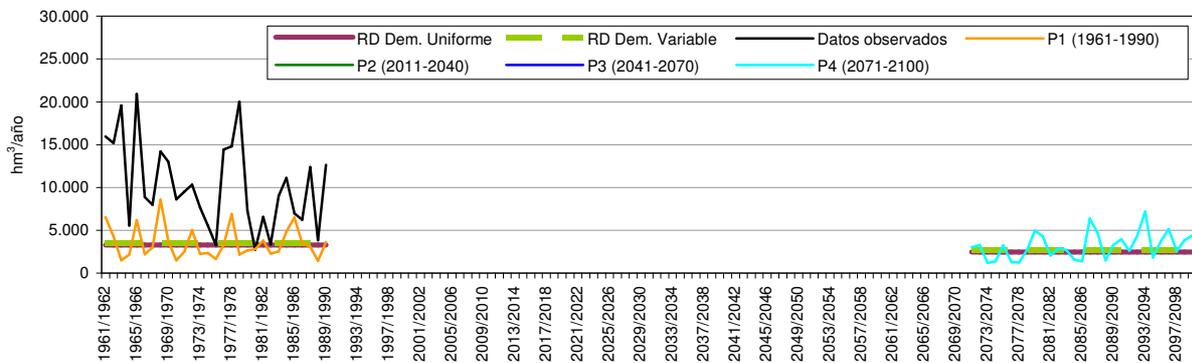


Figura 187. Serie de aportación anual en cada periodo y recurso disponible para la D. H. del Tajo. HadAM3-FIC-B2

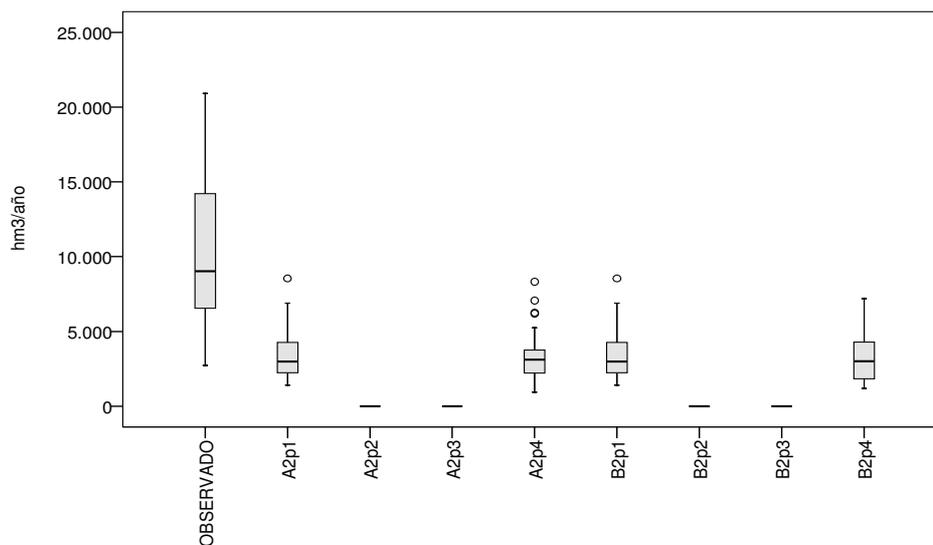


Figura 188. Diagrama de cajas de las series de aportación anual. D. H. del Tajo. HadAM3-FIC (A2 y B2)

5.6. Proyección HadCM3-PROMES

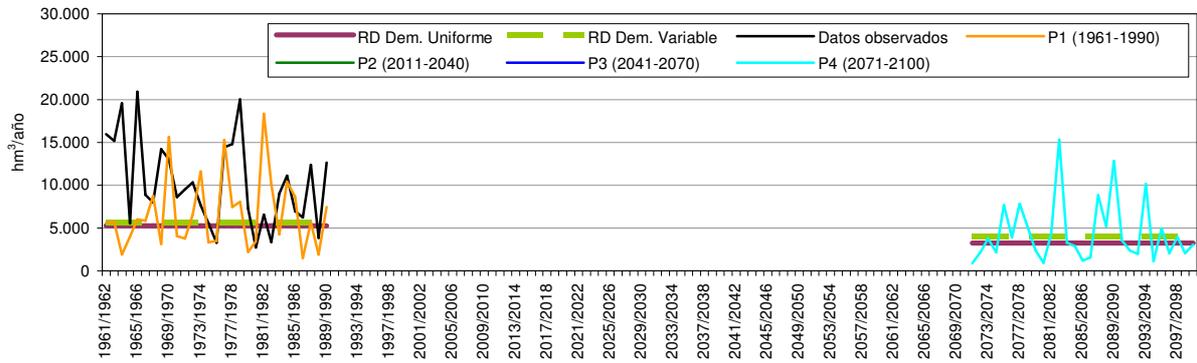


Figura 189. Serie de aportación anual en cada periodo y recurso disponible para la D. H. del Tajo. HadCM3-PROMES-A2

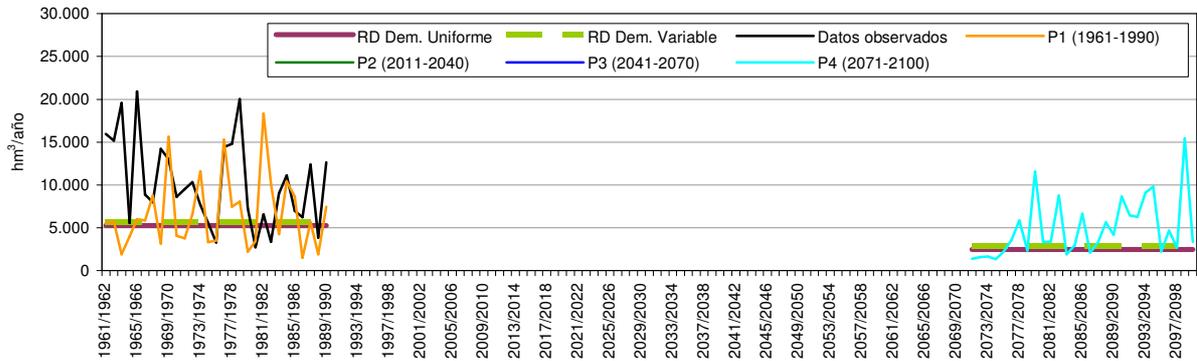


Figura 190. Serie de aportación anual en cada periodo y recurso disponible para la D. H. del Tajo. HadCM3-PROMES-B2

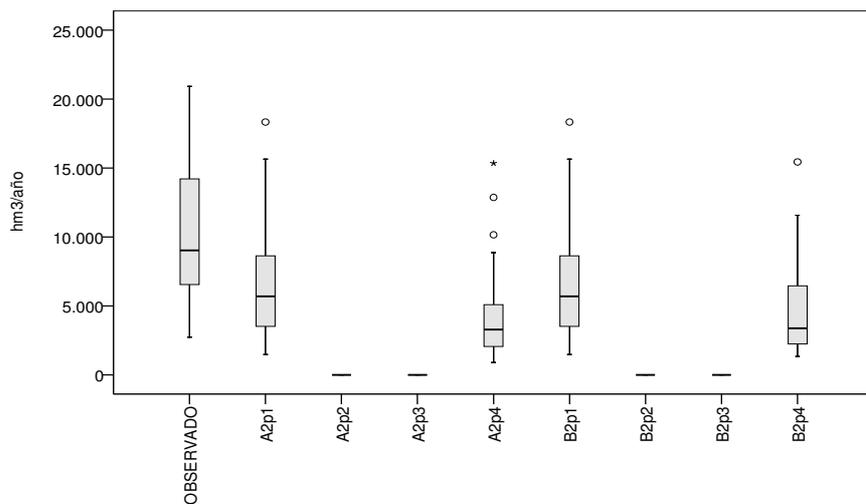


Figura 191. Diagrama de cajas de las series de aportación anual. D. H. del Tajo. HadCM3-PROMES (A2 y B2)



6. DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DEL GUADIANA

6.1. Proyección CGCM2-FIC

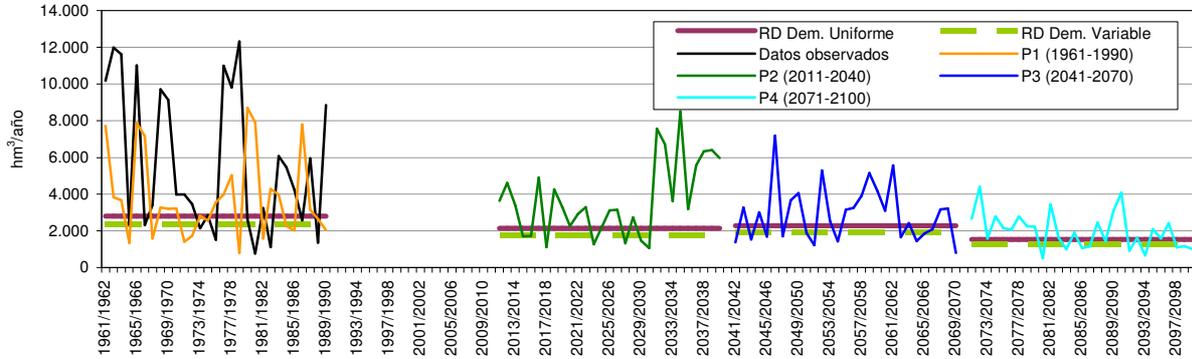


Figura 192. Serie de aportación anual en cada periodo y recurso disponible para la D. H. del Guadiana. CGCM2-FIC-A2

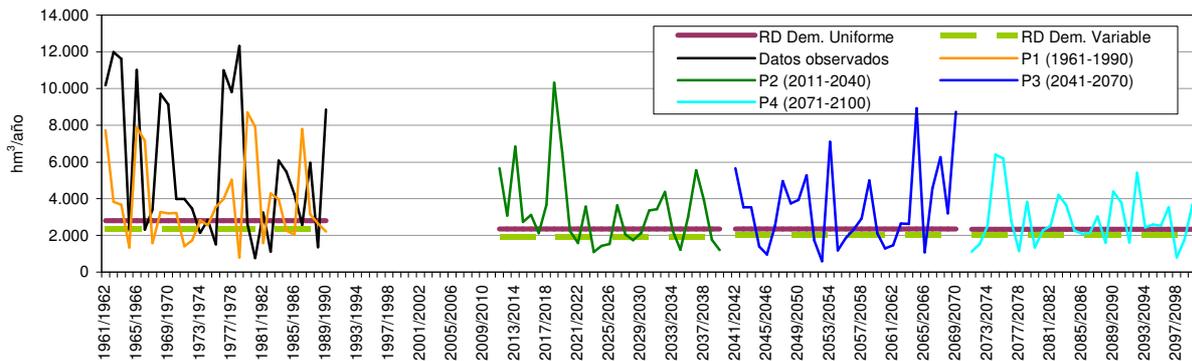


Figura 193. Serie de aportación anual en cada periodo y recurso disponible para la D. H. del Guadiana. CGCM2-FIC-B2

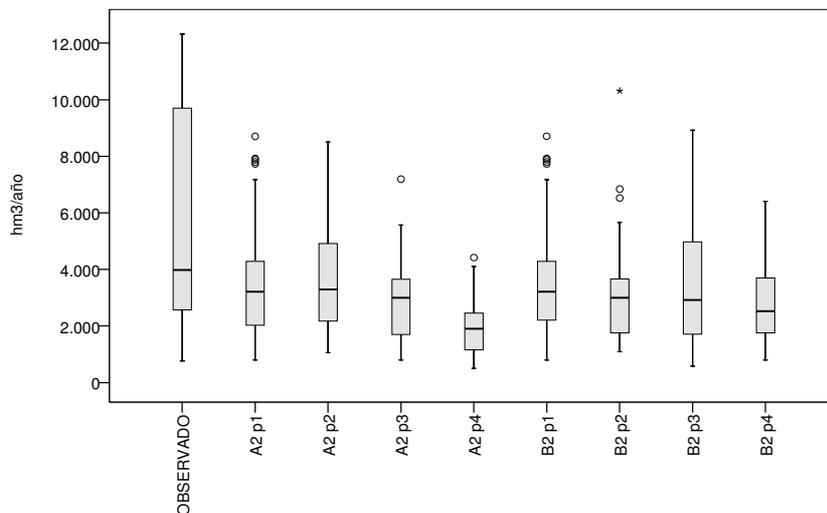


Figura 194. Diagrama de cajas de las series de aportación anual. D. H. del Guadiana. CGCM2-FIC (A2 y B2)

6.2. Proyección ECHAM4-FIC

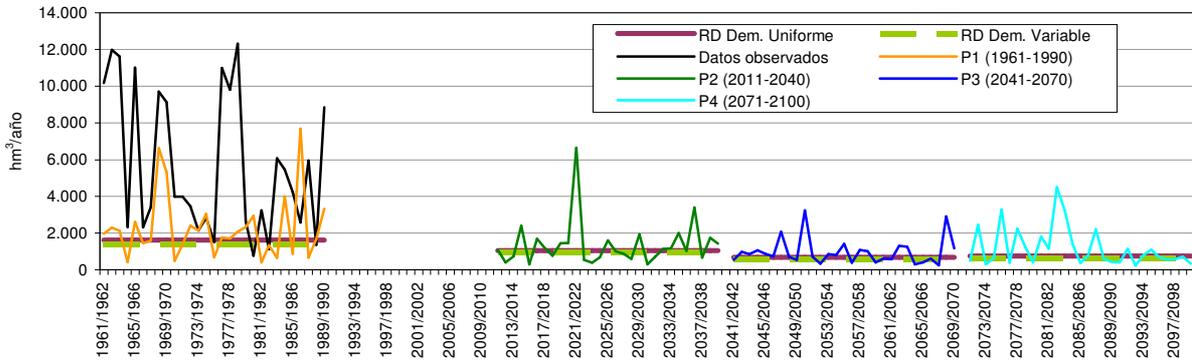


Figura 195. Serie de aportación anual en cada periodo y recurso disponible para la D. H. del Guadiana. ECHAM4-FIC-A2

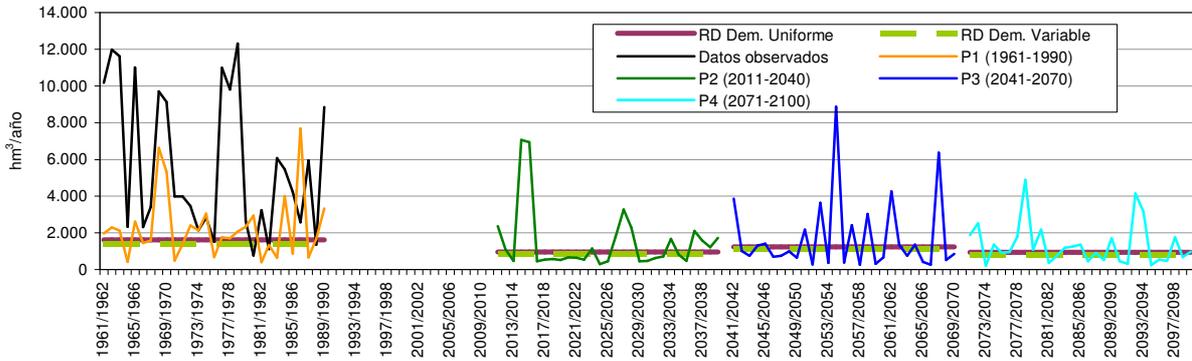


Figura 196. Serie de aportación anual en cada periodo y recurso disponible para la D. H. del Guadiana. ECHAM4-FIC-B2

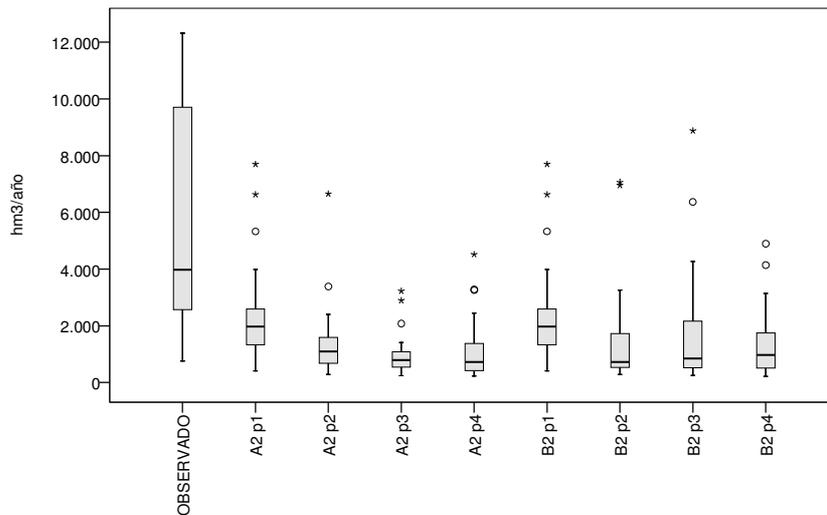


Figura 197. Diagrama de cajas de las series de aportación anual. D. H. del Guadiana. ECHAM4-FIC (A2 y B2)



6.3. Proyección HadCM3-SDSM

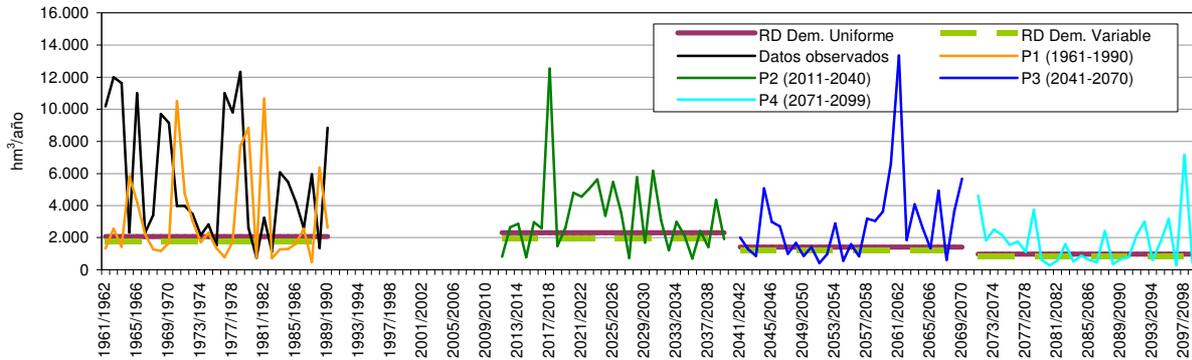


Figura 198. Serie de aportación anual en cada periodo y recurso disponible para la D. H. del Guadiana. HadCM3-SDSM-A2

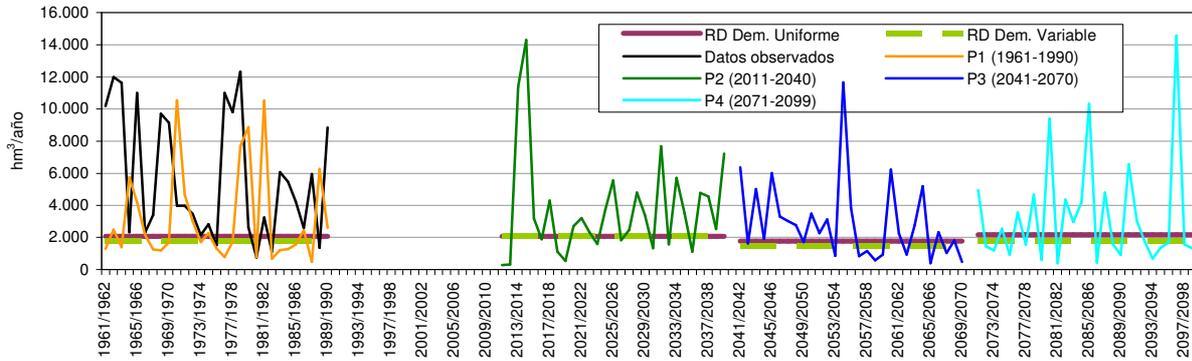


Figura 199. Serie de aportación anual en cada periodo y recurso disponible para la D. H. del Guadiana. HadCM3-SDSM-B2

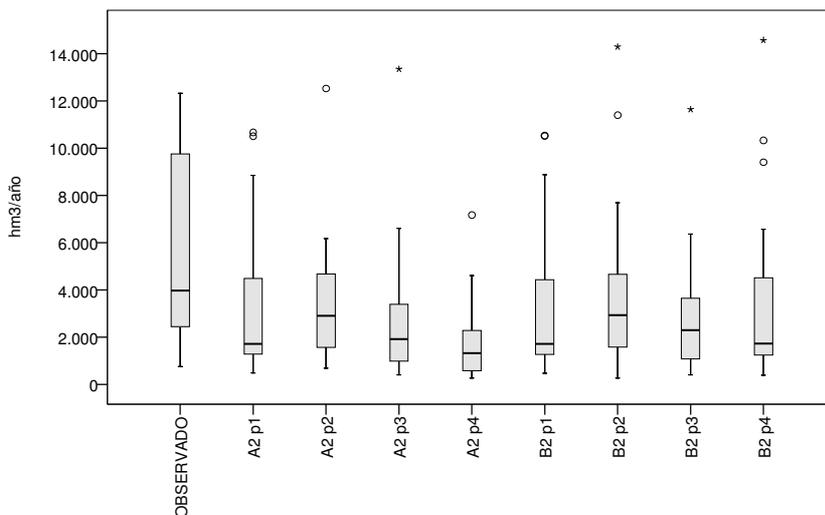


Figura 200. Diagrama de cajas de las series de aportación anual. D. H. del Guadiana. HadCM3-SDSM (A2 y B2)

6.4. Proyección ECHAM4-RCAO

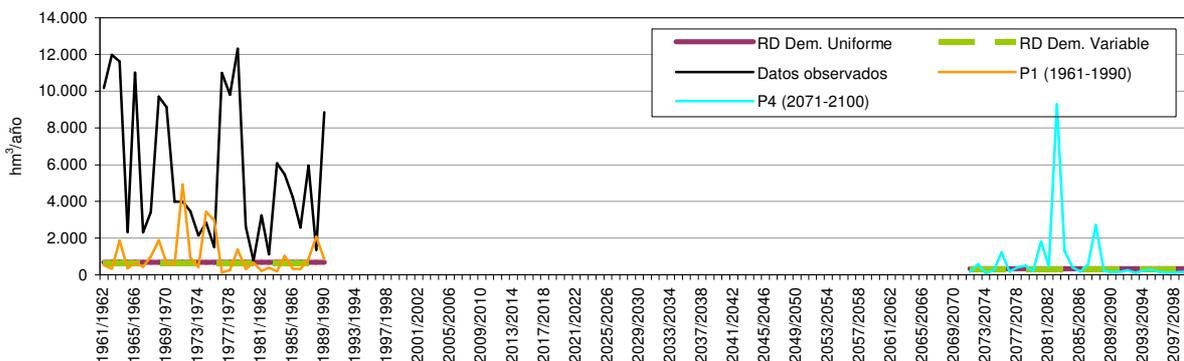


Figura 201. Serie de aportación anual en cada periodo y recurso disponible para la D. H. del Guadiana. ECHAM4-RCAO-A2

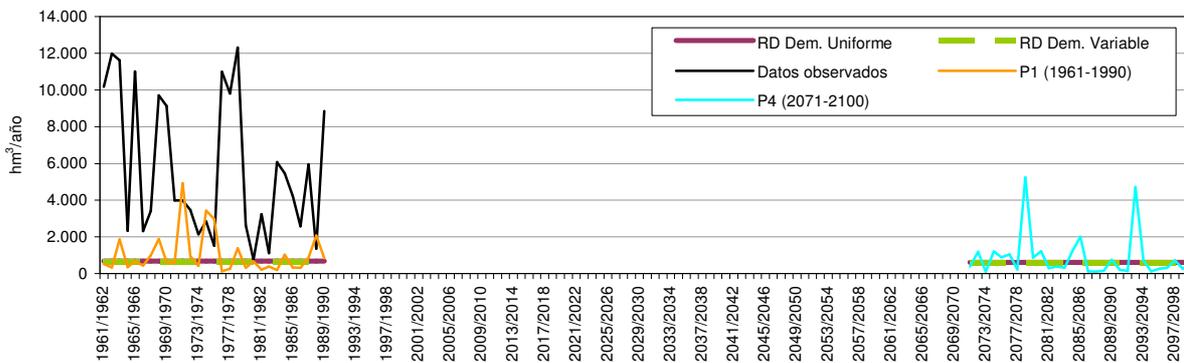


Figura 202. Serie de aportación anual en cada periodo y recurso disponible para la D. H. del Guadiana. ECHAM4-RCAO-B2

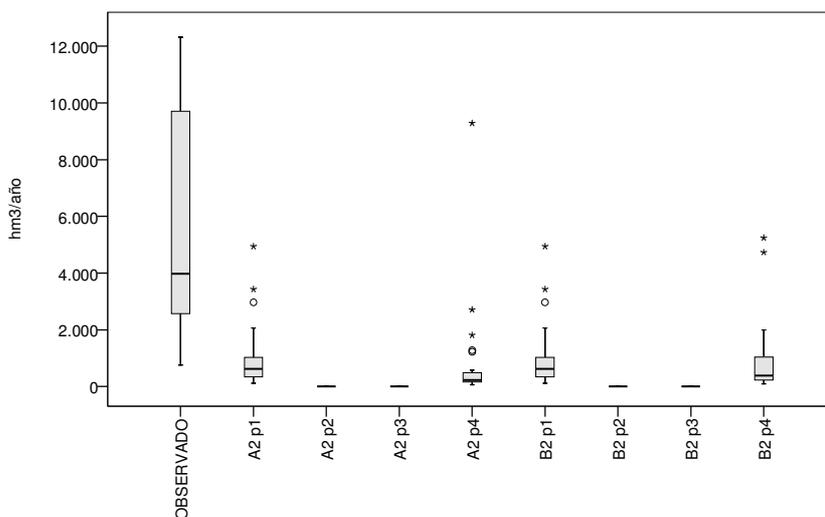


Figura 203. Diagrama de cajas de las series de aportación anual. D. H. del Guadiana. ECHAM4-RCAO (A2 y B2)

6.5. Proyección HadAM3-FIC

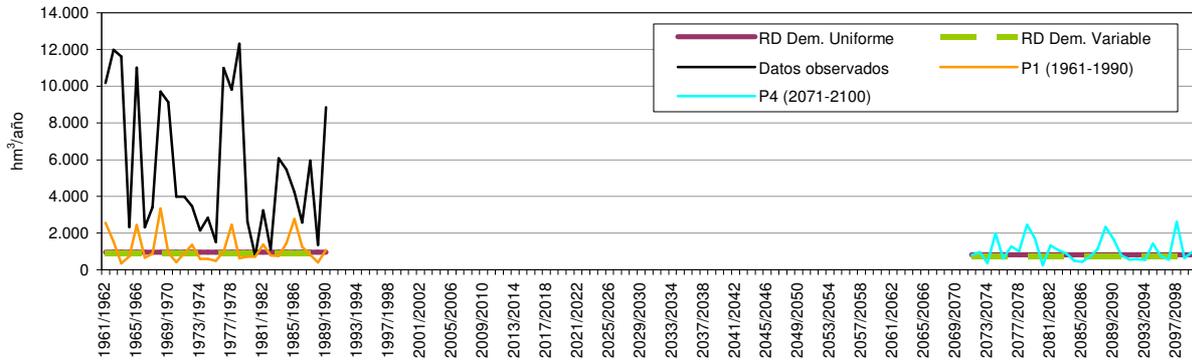


Figura 204. Serie de aportación anual en cada periodo y recurso disponible para la D. H. del Guadiana. HadAM3-FIC-A2

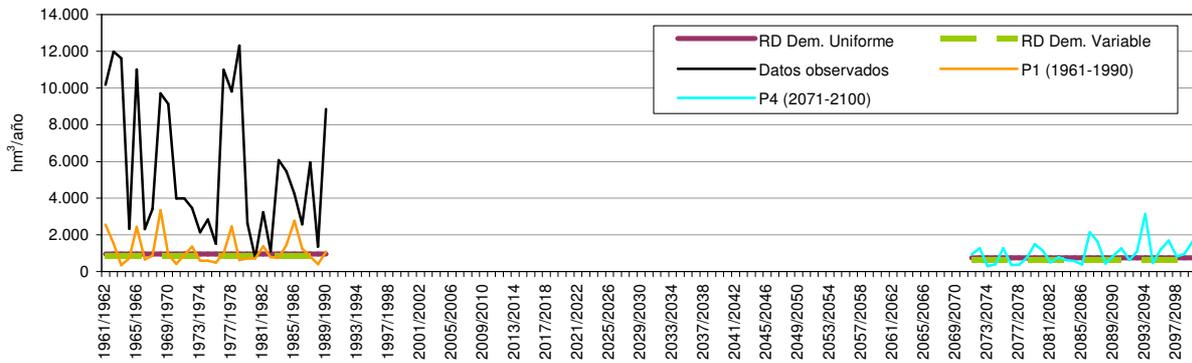


Figura 205. Serie de aportación anual en cada periodo y recurso disponible para la D. H. del Guadiana. HadAM3-FIC-B2

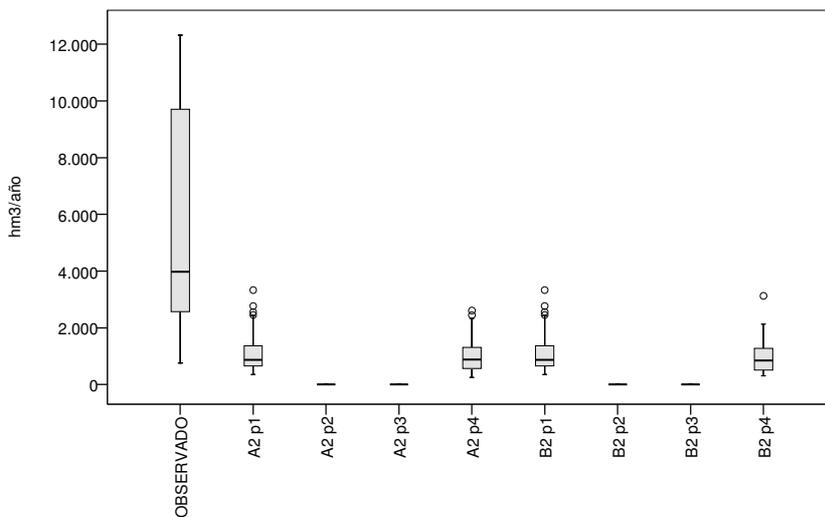


Figura 206. Diagrama de cajas de las series de aportación anual. D. H. del Guadiana. HadAM3-FIC (A2 y B2)

6.6. Proyección HadCM3-PROMES

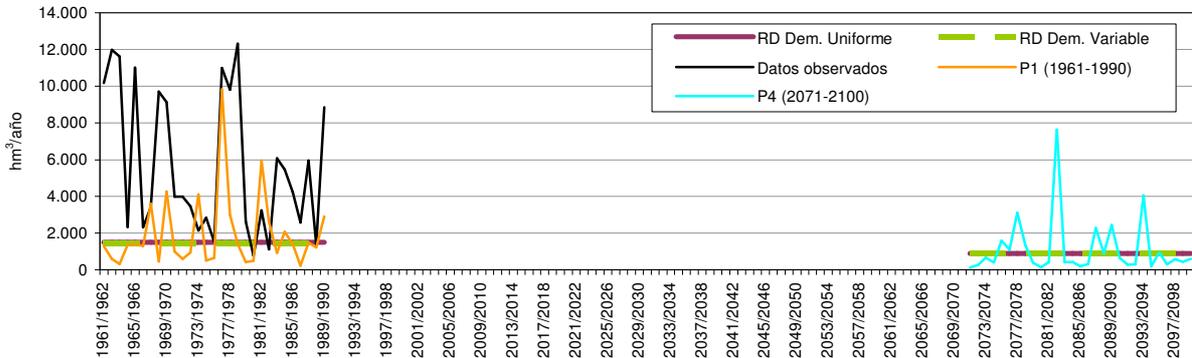


Figura 207. Serie de aportación anual en cada periodo y recurso disponible para la D. H. del Guadiana. HadCM3-PROMES-A2

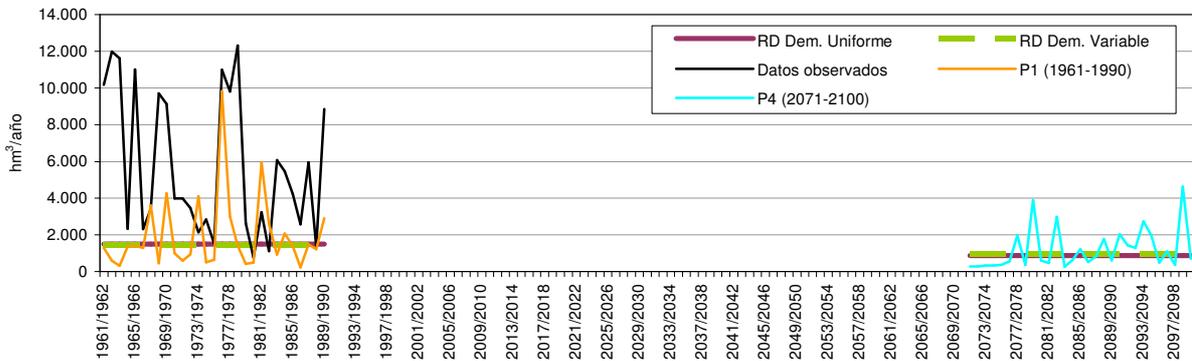


Figura 208. Serie de aportación anual en cada periodo y recurso disponible para la D. H. del Guadiana. HadCM3-PROMES-B2

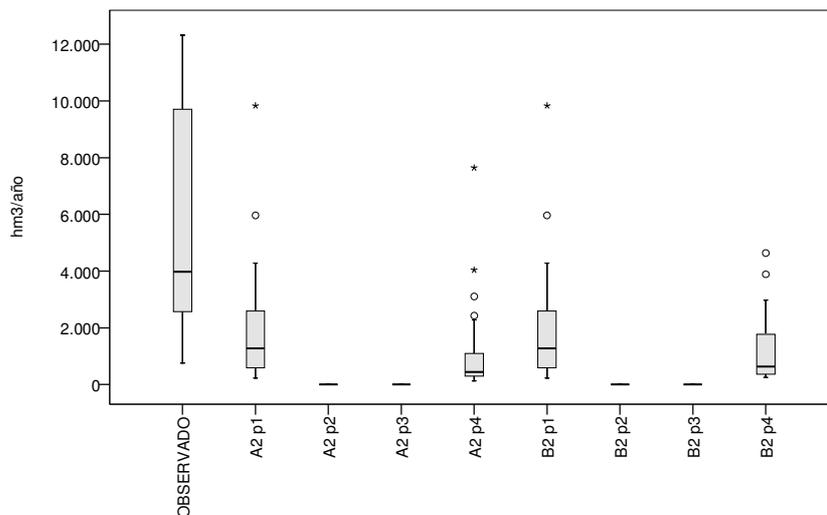


Figura 209. Diagrama de cajas de las series de aportación anual. D. H. del Guadiana. HadCM3-PROMES (A2 y B2)



7. DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DEL GUADALQUIVIR

7.1. Proyección CGCM2-FIC

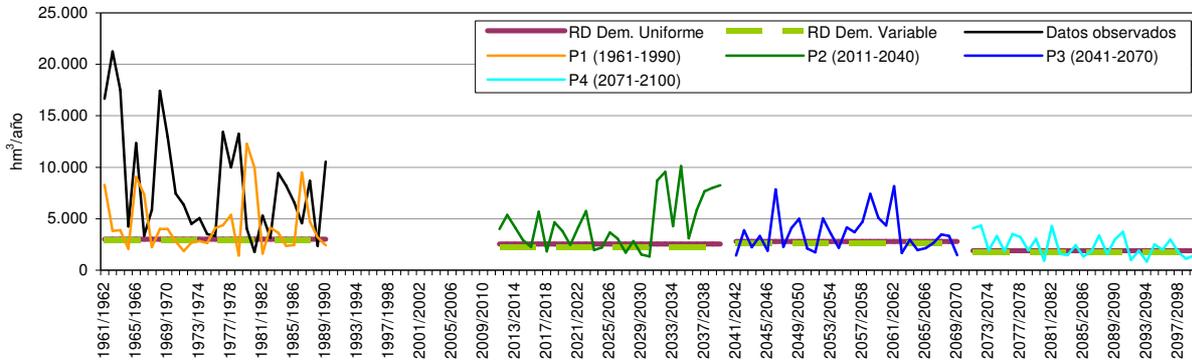


Figura 210. Serie de aportación anual en cada periodo y recurso disponible para la D. H. del Guadalquivir. CGCM2-FIC-A2

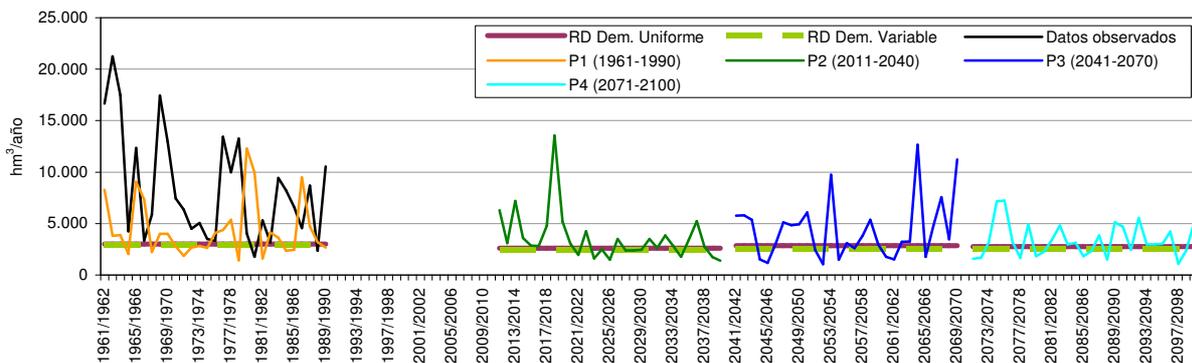


Figura 211. Serie de aportación anual en cada periodo y recurso disponible para la D. H. del Guadalquivir. CGCM2-FIC-B2

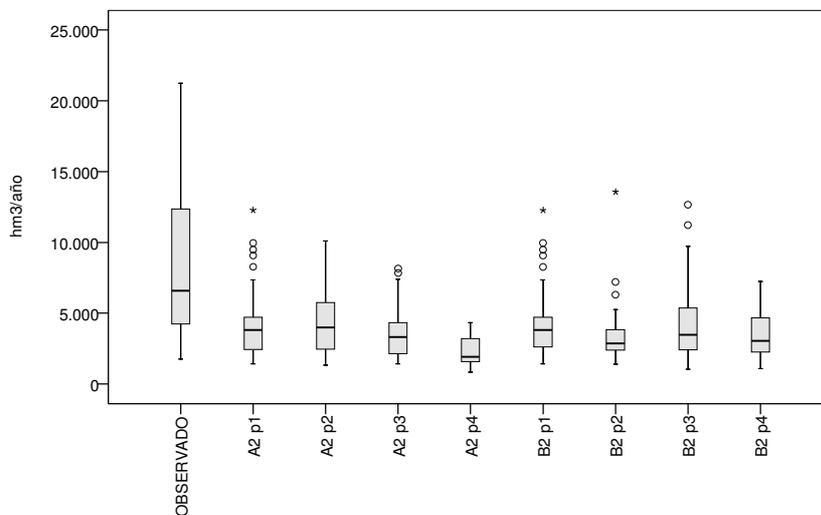


Figura 212. Diagrama de cajas de las series de aportación anual. D. H. del Guadalquivir. CGCM2-FIC (A2 y B2)

7.2. Proyección ECHAM4-FIC

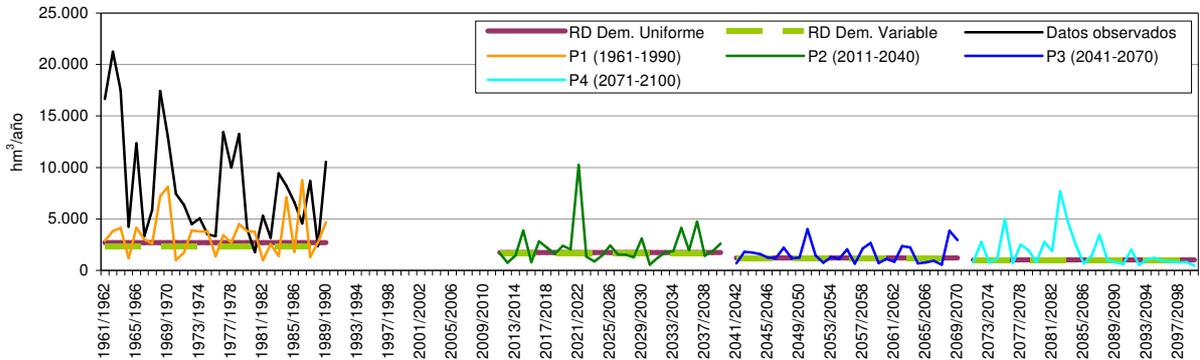


Figura 213. Serie de aportación anual en cada periodo y recurso disponible para la D. H. del Guadalquivir. ECHAM4-FIC-A2

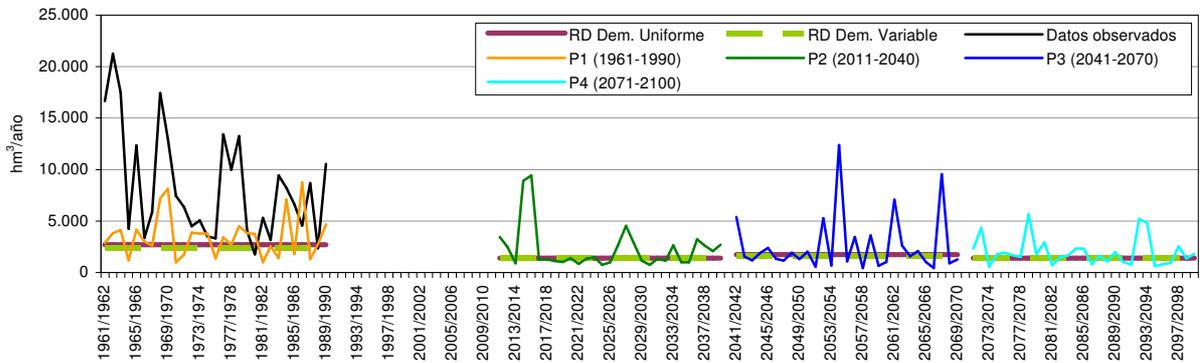


Figura 214. Serie de aportación anual en cada periodo y recurso disponible para la D. H. del Guadalquivir. ECHAM4-FIC-B2

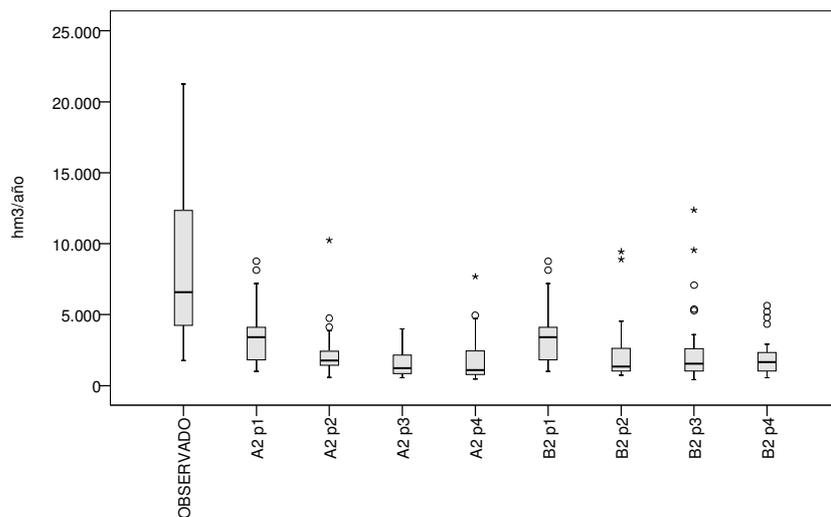


Figura 215. Diagrama de cajas de las series de aportación anual. D. H. del Guadalquivir. ECHAM4-FIC (A2 y B2)



7.3. Proyección HadCM3-SDSM

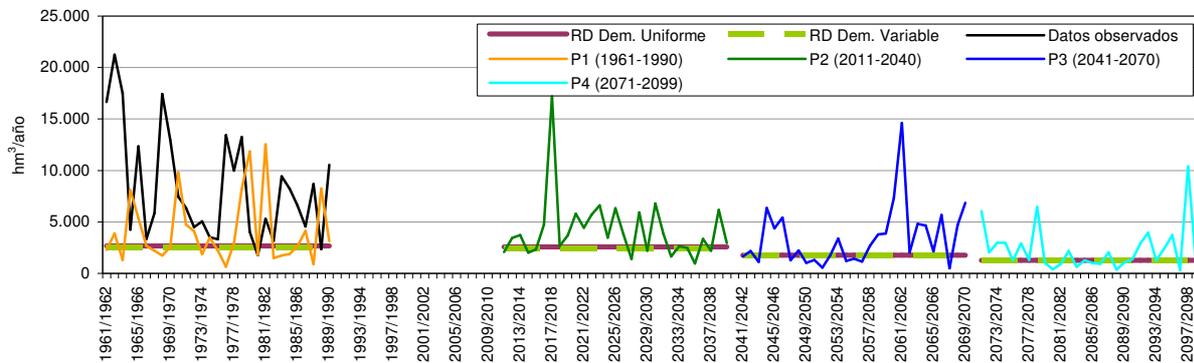


Figura 216. Serie de aportación anual en cada periodo y recurso disponible para la D. H. del Guadalquivir. HadCM3-SDSM-A2

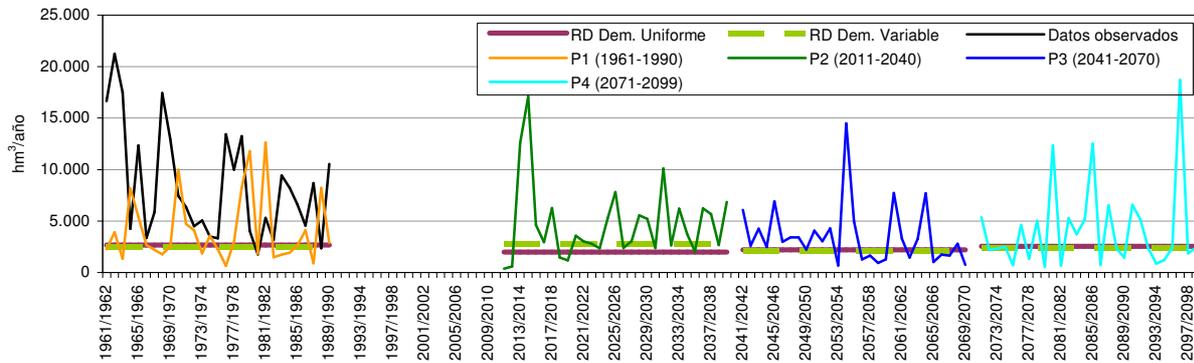


Figura 217. Serie de aportación anual en cada periodo y recurso disponible para la D. H. del Guadalquivir. HadCM3-SDSM-B2

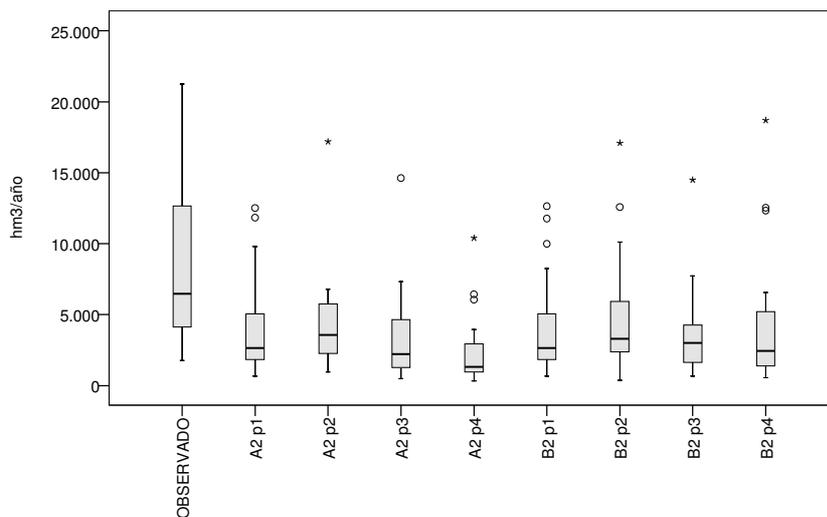


Figura 218. Diagrama de cajas de las series de aportación anual. D. H. del Guadalquivir. HadCM3-SDSM (A2 y B2)

7.4. Proyección ECHAM4-RCAO

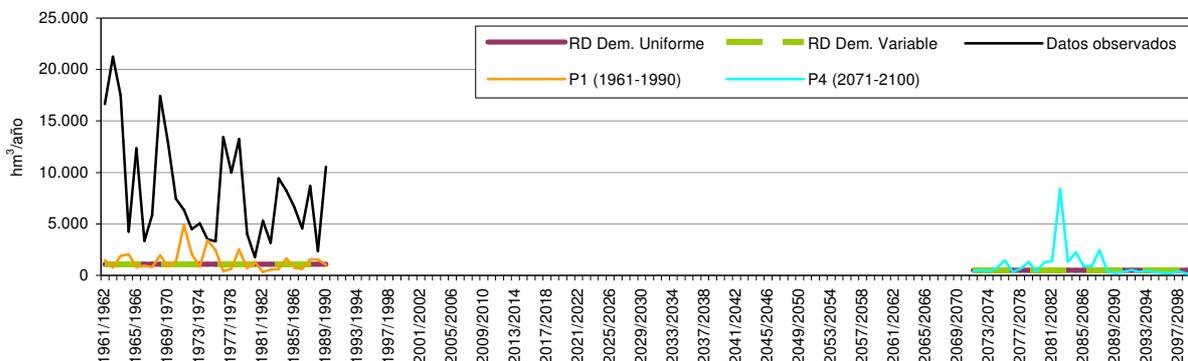


Figura 219. Serie de aportación anual en cada periodo y recurso disponible para la D. H. del Guadalquivir. ECHAM4-RCAO-A2

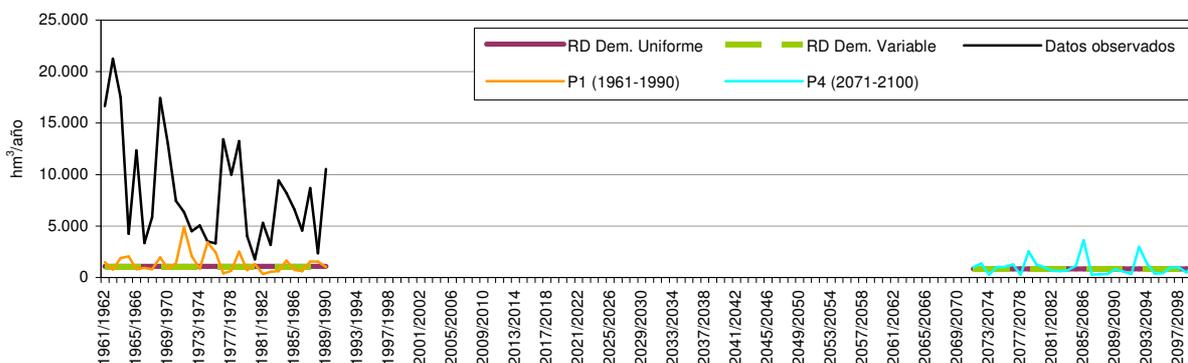


Figura 220. Serie de aportación anual en cada periodo y recurso disponible para la D. H. del Guadalquivir. ECHAM4-RCAO-B2

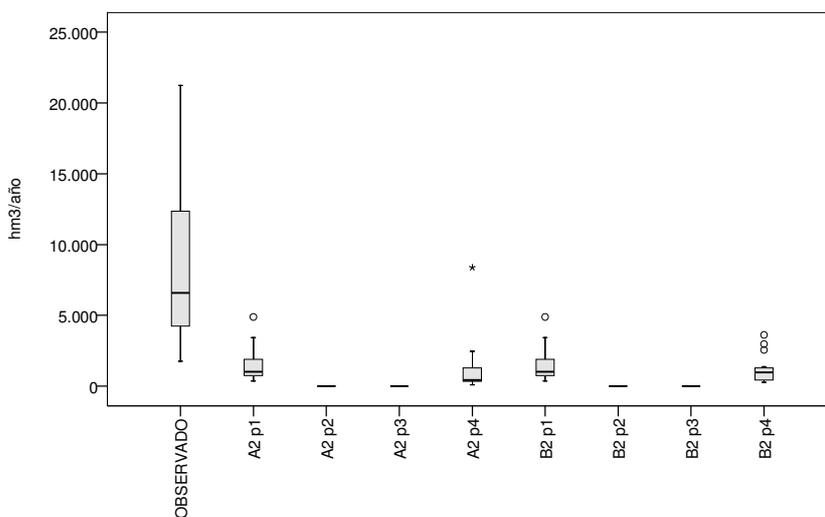


Figura 221. Diagrama de cajas de las series de aportación anual. D. H. del Guadalquivir. ECHAM4-RCAO (A2 y B2)



7.5. Proyección HadAM3-FIC

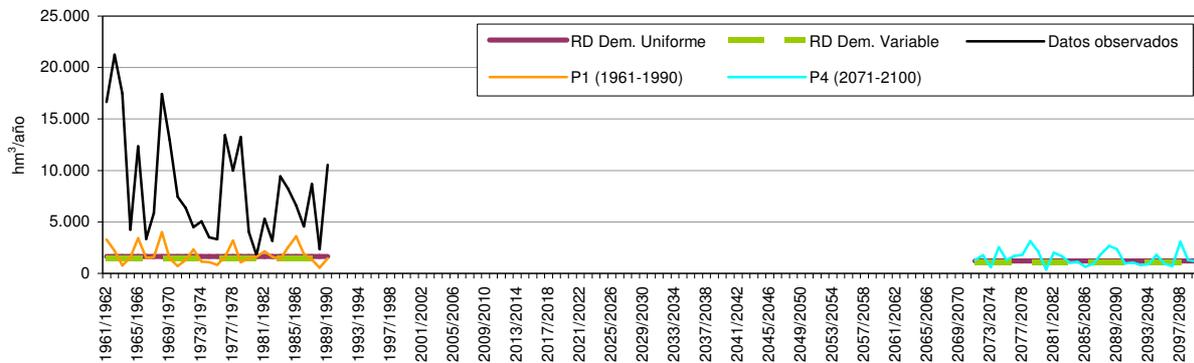


Figura 222. Serie de aportación anual en cada periodo y recurso disponible para la D. H. del Guadalquivir. HadAM3-FIC-A2

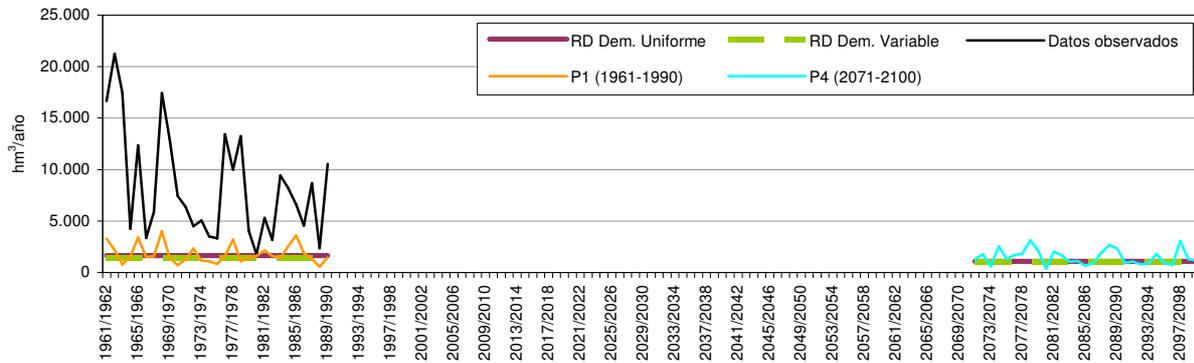


Figura 223. Serie de aportación anual en cada periodo y recurso disponible para la D. H. del Guadalquivir. HadAM3-FIC-B2

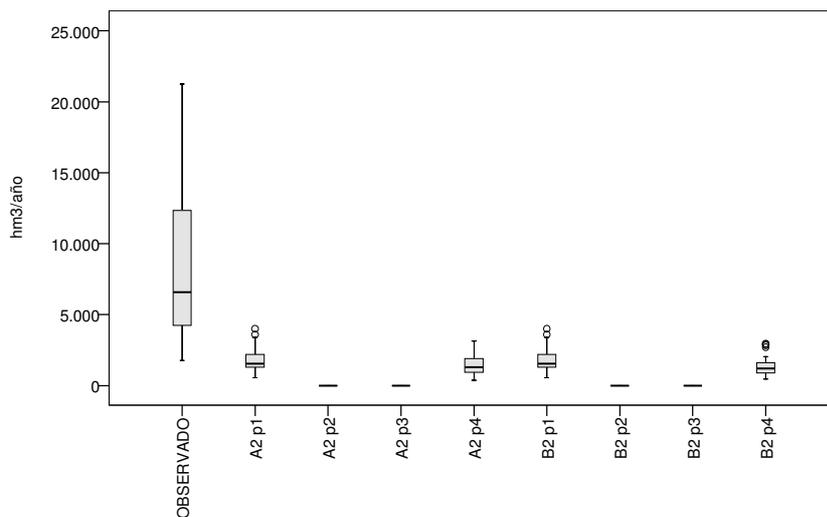


Figura 224. Diagrama de cajas de las series de aportación anual. D. H. del Guadalquivir. HadAM3-FIC (A2 y B2)

7.6. Proyección HadCM3-PROMES

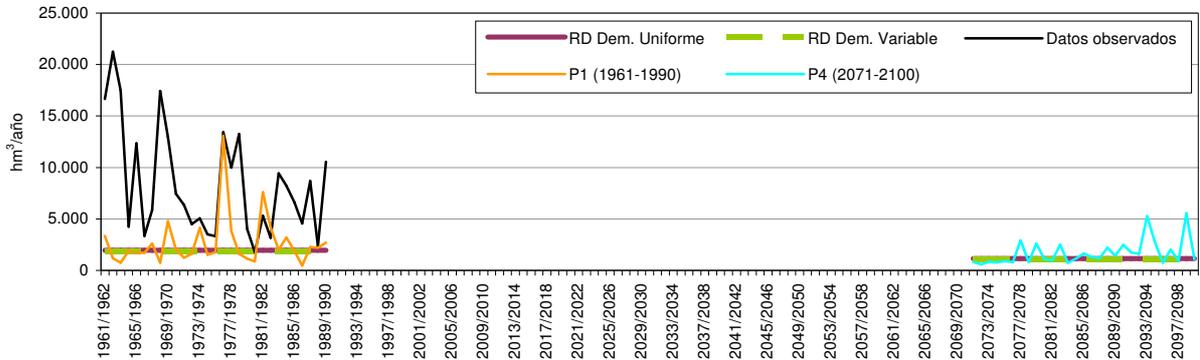


Figura 225. Serie de aportación anual en cada periodo y recurso disponible para la D. H. del Guadalquivir. HadCM3-PROMES-A2

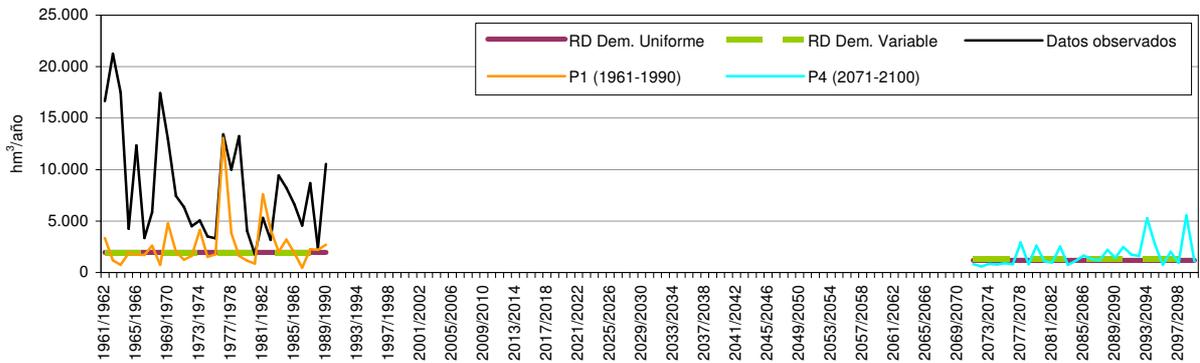


Figura 226. Serie de aportación anual en cada periodo y recurso disponible para la D. H. del Guadalquivir. HadCM3-PROMES-B2

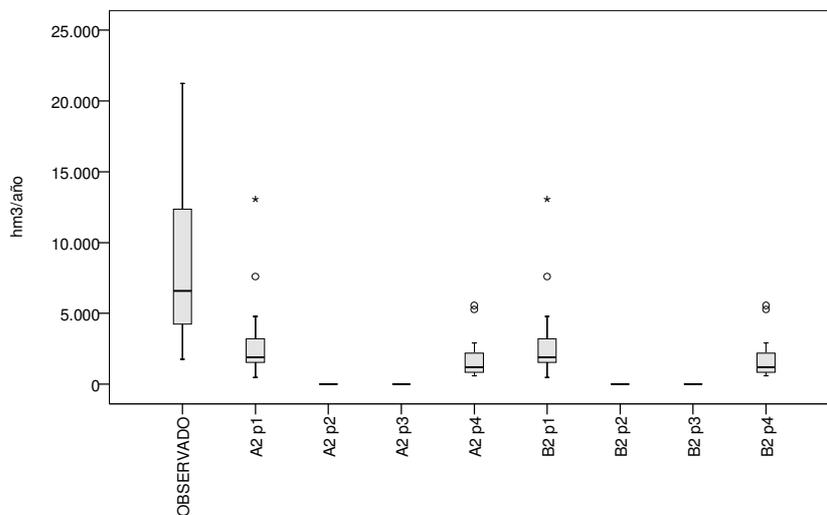


Figura 227. Diagrama de cajas de las series de aportación anual. D. H. del Guadalquivir. HadCM3-PROMES (A2 y B2)

8. DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DEL SEGURA

8.1. Proyección CGCM2-FIC

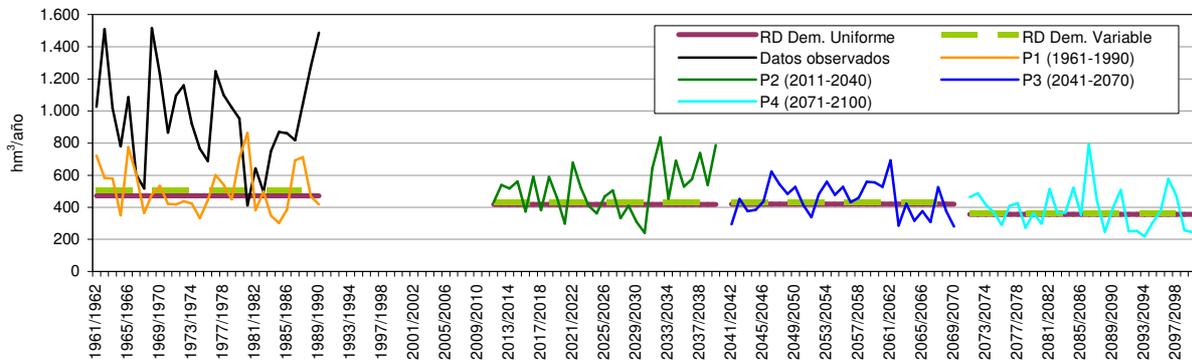


Figura 228. Serie de aportación anual en cada periodo y recurso disponible para la D. H. del Segura. CGCM2-FIC-A2

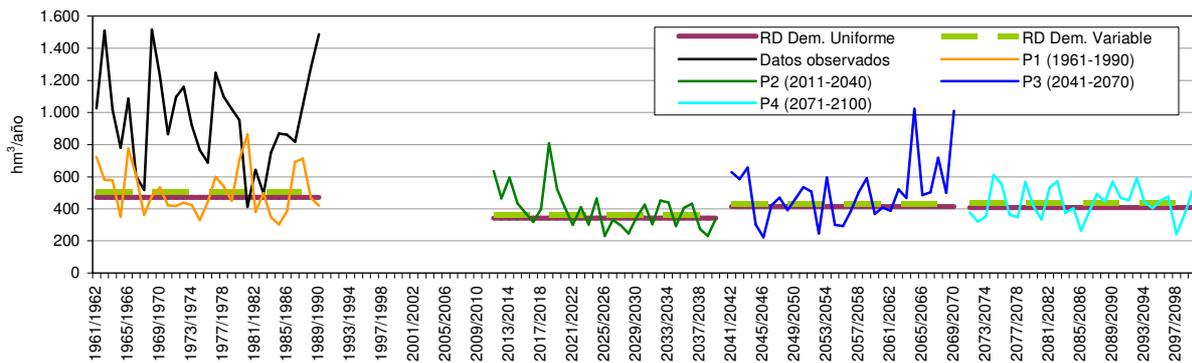


Figura 229. Serie de aportación anual en cada periodo y recurso disponible para la D. H. del Segura. CGCM2-FIC-B2

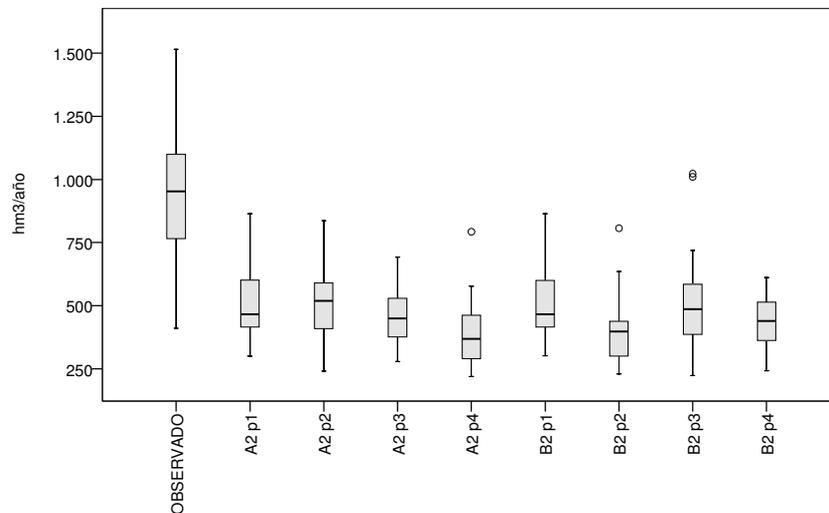


Figura 230. Diagrama de cajas de las series de aportación anual. D. H. del Segura. CGCM2-FIC (A2 y B2)

8.2. Proyección ECHAM4-FIC

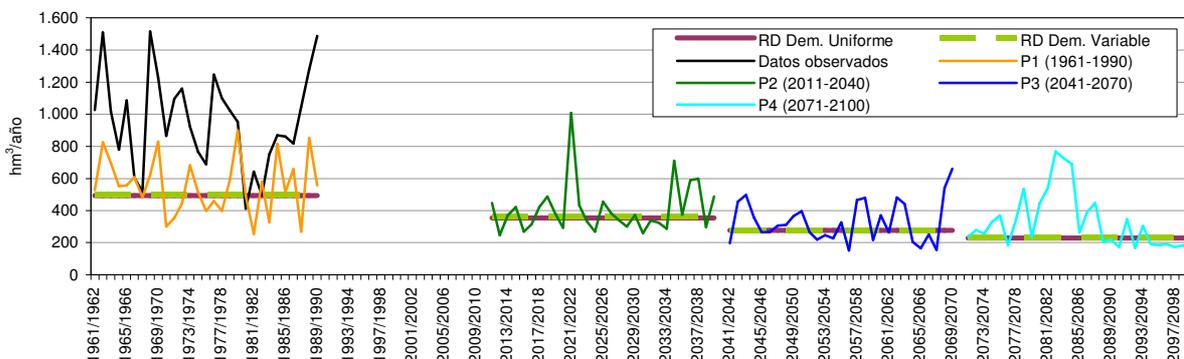


Figura 231. Serie de aportación anual en cada periodo y recurso disponible para la D. H. del Segura. ECHAM4-FIC-A2

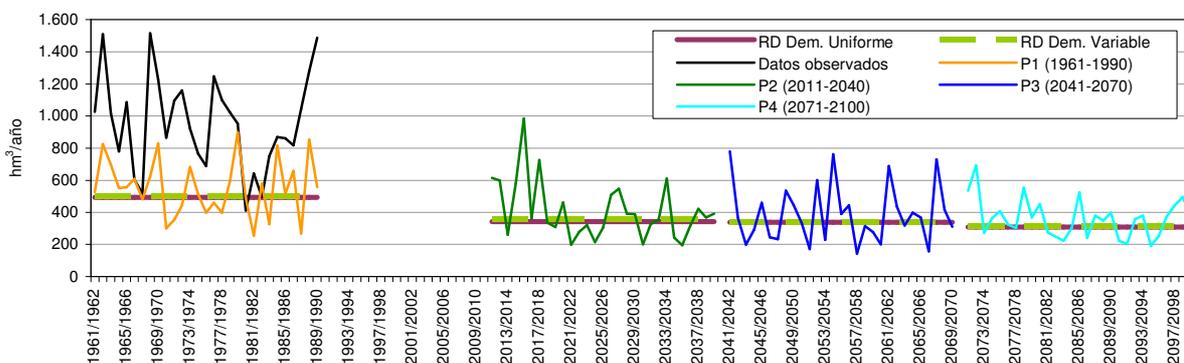


Figura 232. Serie de aportación anual en cada periodo y recurso disponible para la D. H. del Segura. ECHAM4-FIC-B2

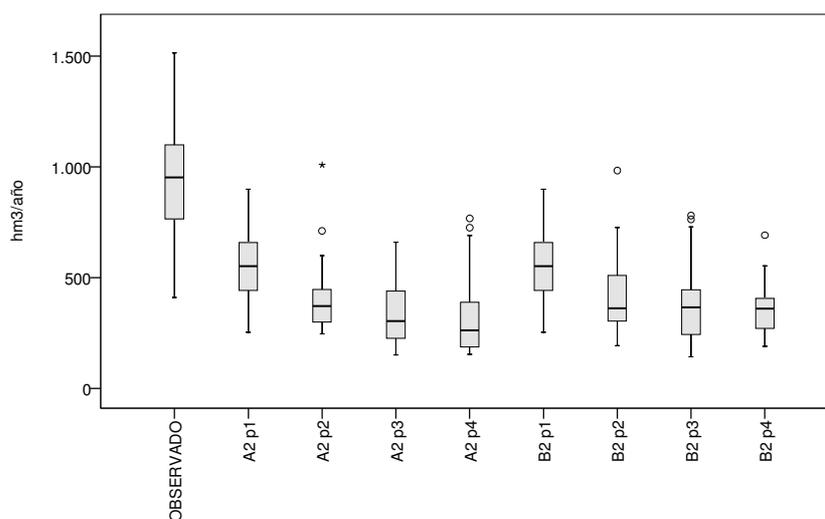


Figura 233. Diagrama de cajas de las series de aportación anual. D. H. del Segura. ECHAM4-FIC (A2 y B2)

8.3. Proyección HadCM3-SDSM

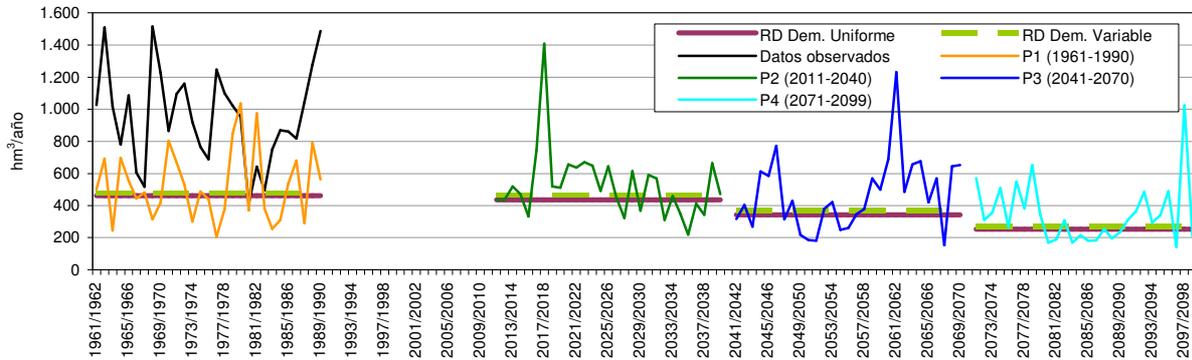


Figura 234. Serie de aportación anual en cada periodo y recurso disponible para la D. H. del Segura. HadCM3-SDSM-A2

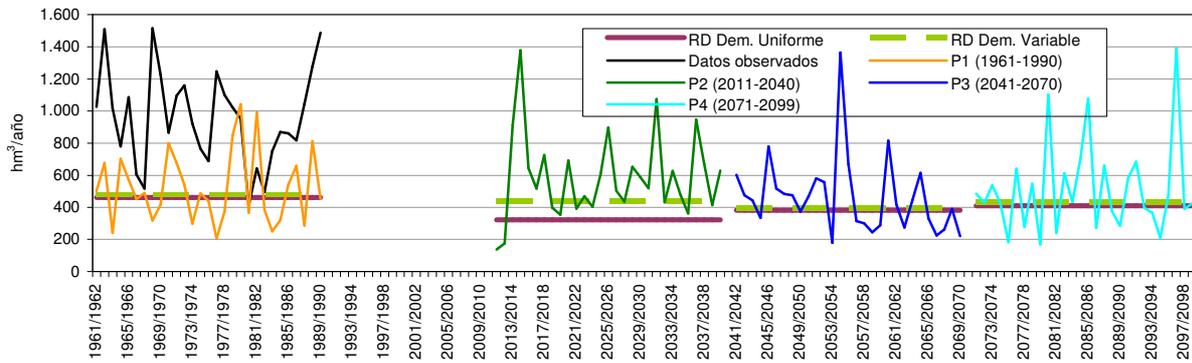


Figura 235. Serie de aportación anual en cada periodo y recurso disponible para la D. H. del Segura. HadCM3-SDSM-B2

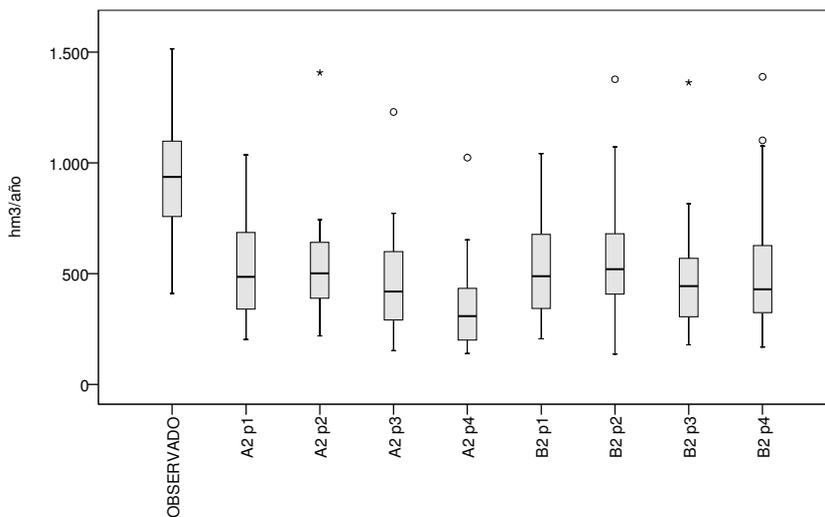


Figura 236. Diagrama de cajas de las series de aportación anual. D. H. del Segura. HadCM3-SDSM (A2 y B2)

8.4. Proyección ECHAM4-RCAO

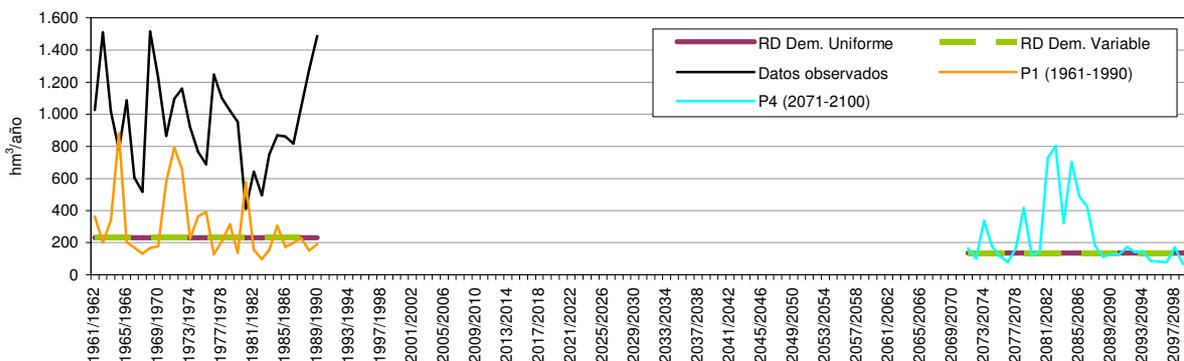


Figura 237. Serie de aportación anual en cada periodo y recurso disponible para la D. H. del Segura. ECHAM4-RCAO-A2

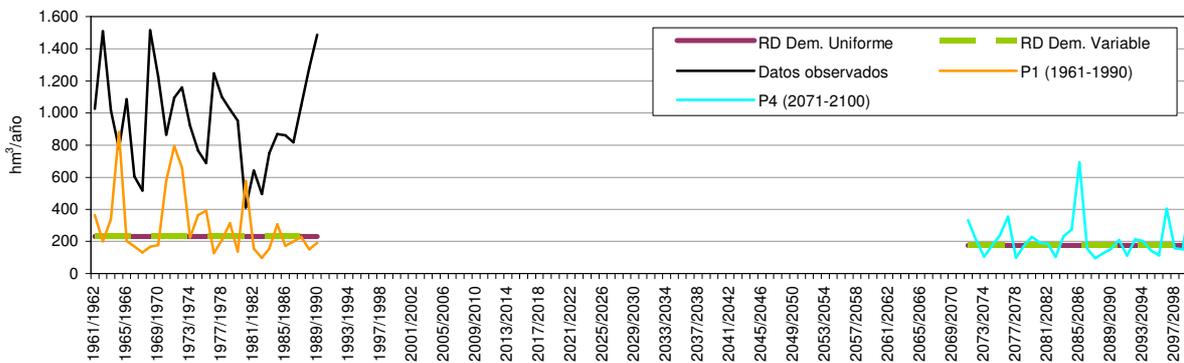


Figura 238. Serie de aportación anual en cada periodo y recurso disponible para la D. H. del Segura. ECHAM4-RCAO-B2

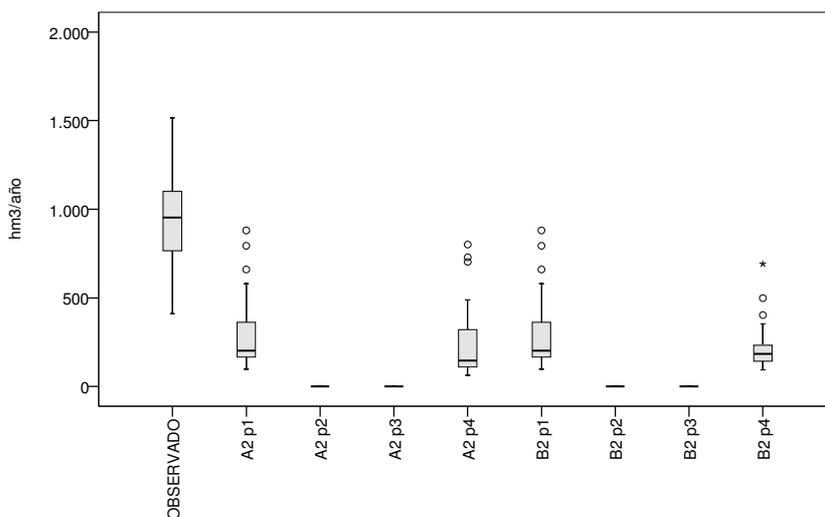


Figura 239. Diagrama de cajas de las series de aportación anual. D. H. del Segura. ECHAM4-RCAO (A2 y B2)

8.5. Proyección HadAM3-FIC

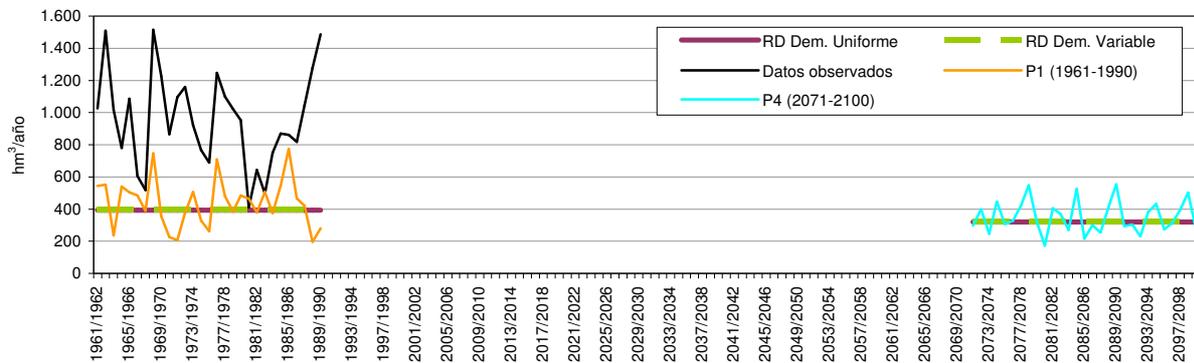


Figura 240. Serie de aportación anual en cada periodo y recurso disponible para la D. H. del Segura. HadAM3-FIC-A2

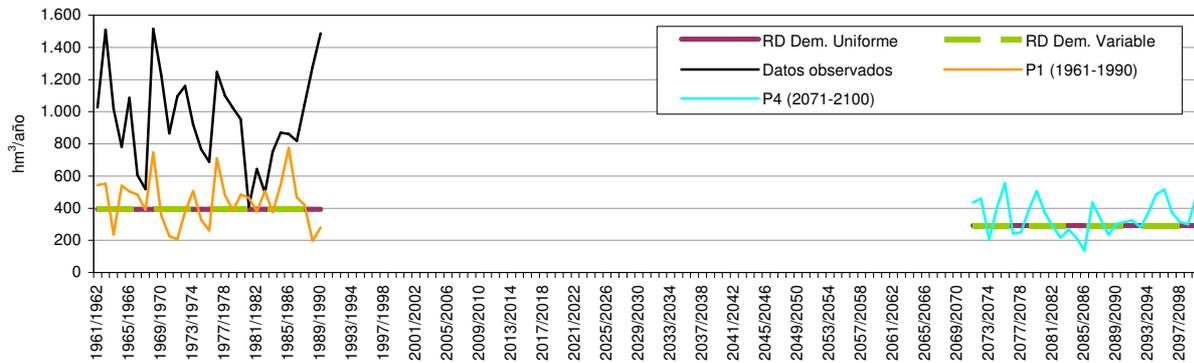


Figura 241. Serie de aportación anual en cada periodo y recurso disponible para la D. H. del Segura. HadAM3-FIC-B2

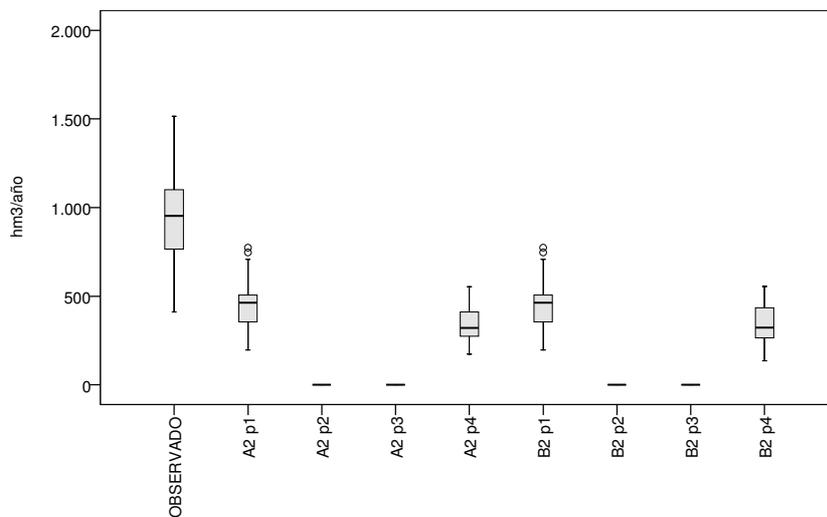


Figura 242. Diagrama de cajas de las series de aportación anual. D. H. del Segura. HadAM3-FIC (A2 y B2)

8.6. Proyección HadCM3-PROMES

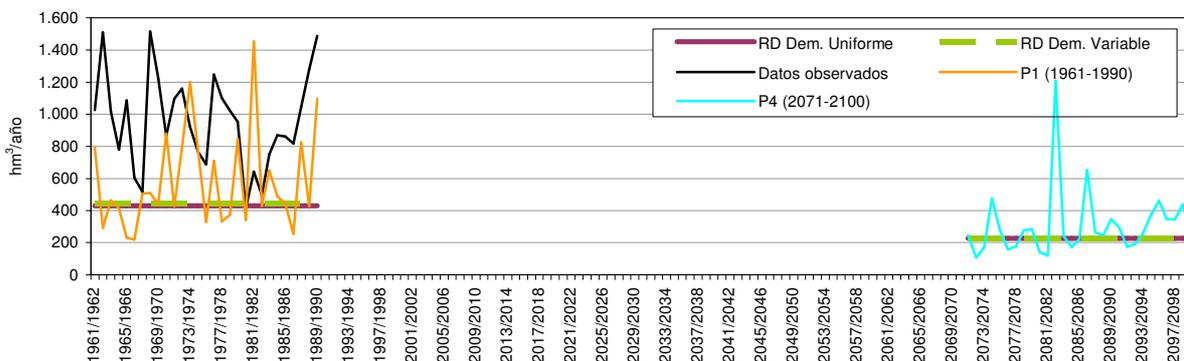


Figura 243. Serie de aportación anual en cada periodo y recurso disponible para la D. H. del Segura. HadCM3-PROMES-A2

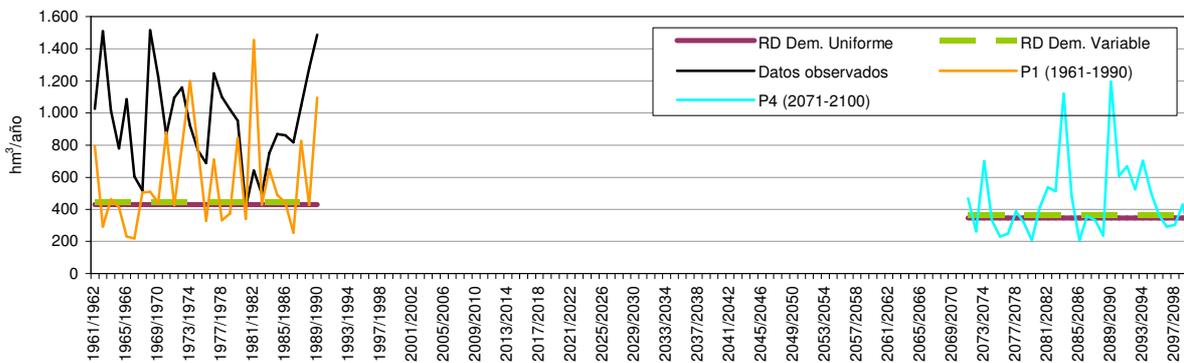


Figura 244. Serie de aportación anual en cada periodo y recurso disponible para la D. H. del Segura. HadCM3-PROMES-B2

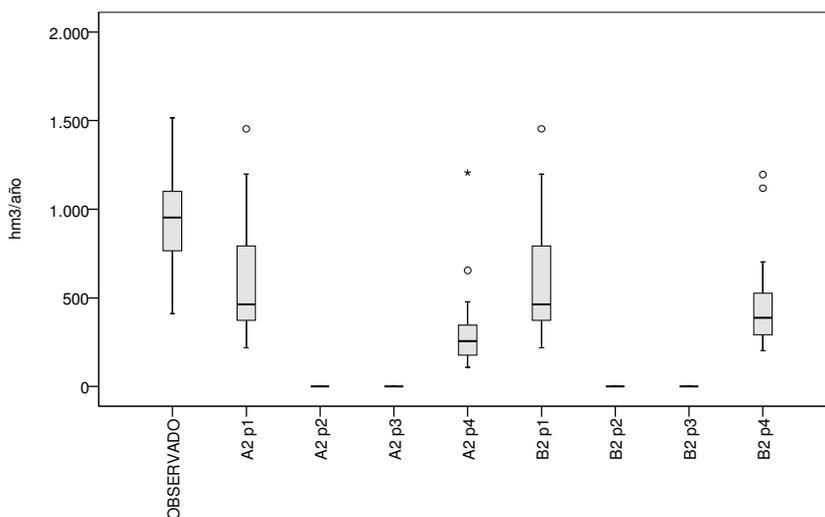


Figura 245. Diagrama de cajas de las series de aportación anual. D. H. del Segura. HadCM3-PROMES (A2 y B2)

9. DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DEL JÚCAR

9.1. Proyección CGCM2-FIC

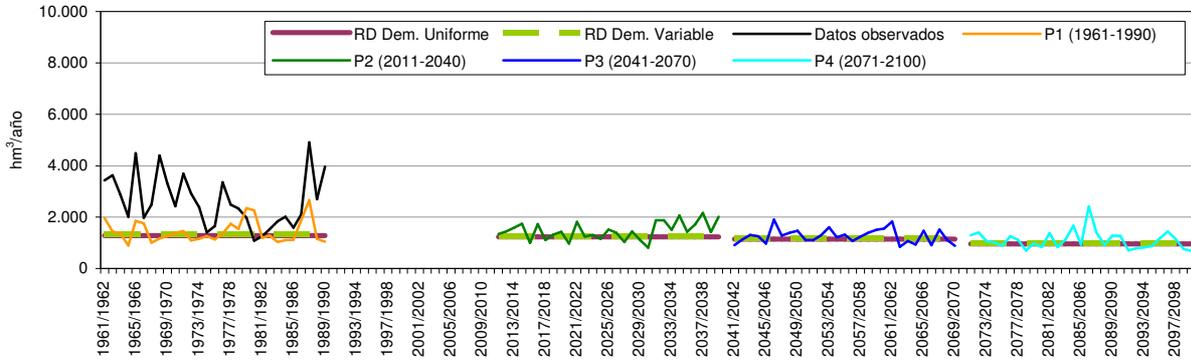


Figura 246. Serie de aportación anual en cada periodo y recurso disponible para la D. H. del Júcar. CGCM2-FIC-A2

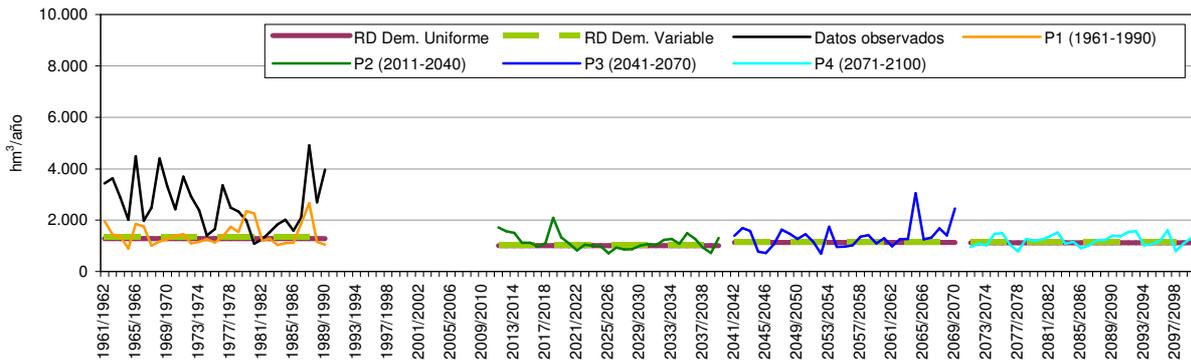


Figura 247. Serie de aportación anual en cada periodo y recurso disponible para la D. H. del Júcar. CGCM2-FIC-B2

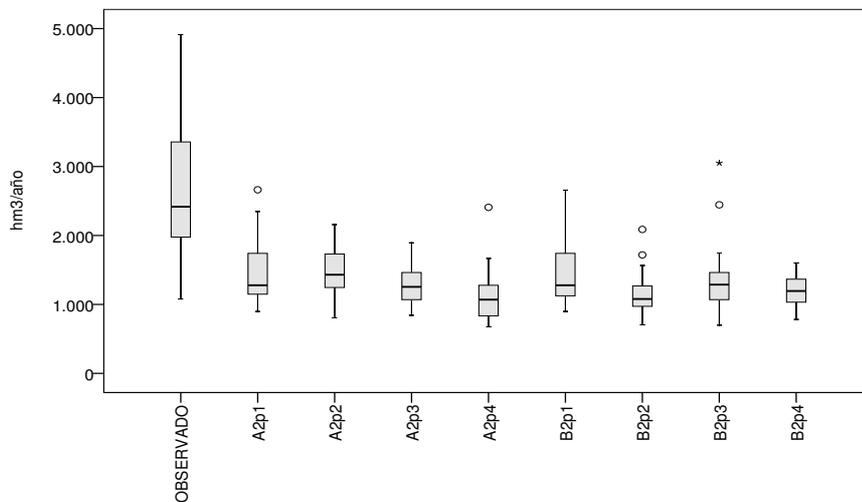


Figura 248. Diagrama de cajas de las series de aportación anual. D. H. del Júcar. CGCM2-FIC (A2 y B2)

9.2. Proyección ECHAM4-FIC

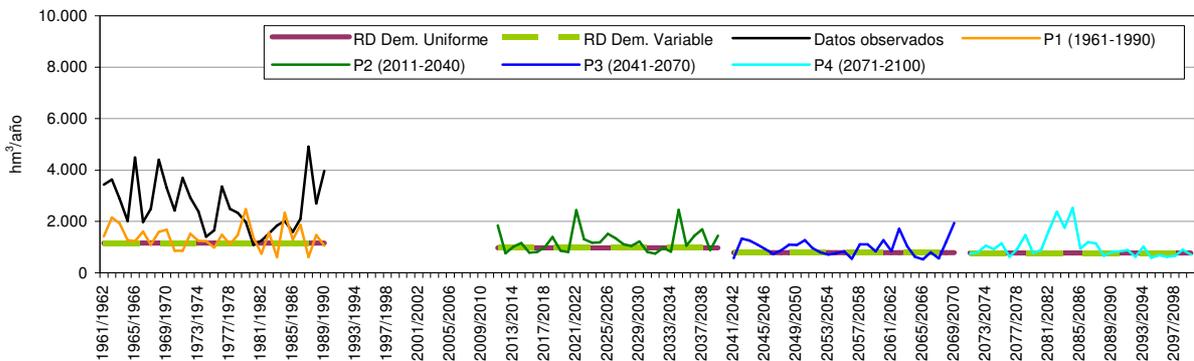


Figura 249. Serie de aportación anual en cada periodo y recurso disponible para la D. H. del Júcar. ECHAM4-FIC-A2

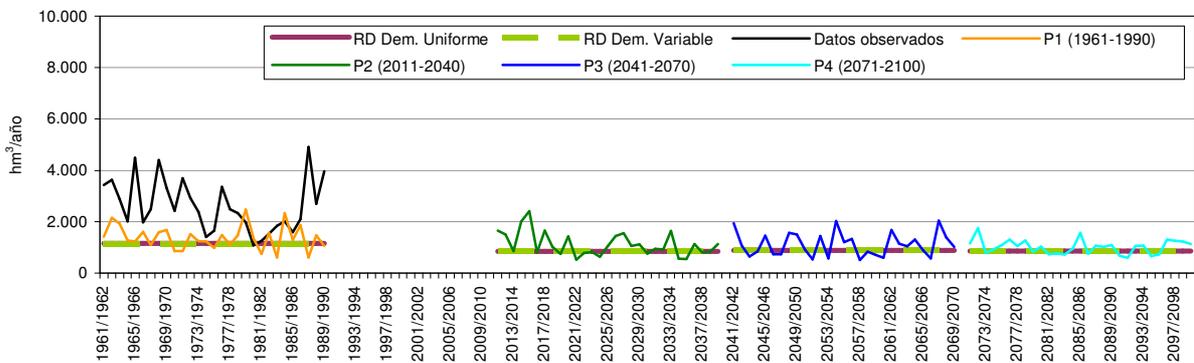


Figura 250. Serie de aportación anual en cada periodo y recurso disponible para la D. H. del Júcar. ECHAM4-FIC-B2

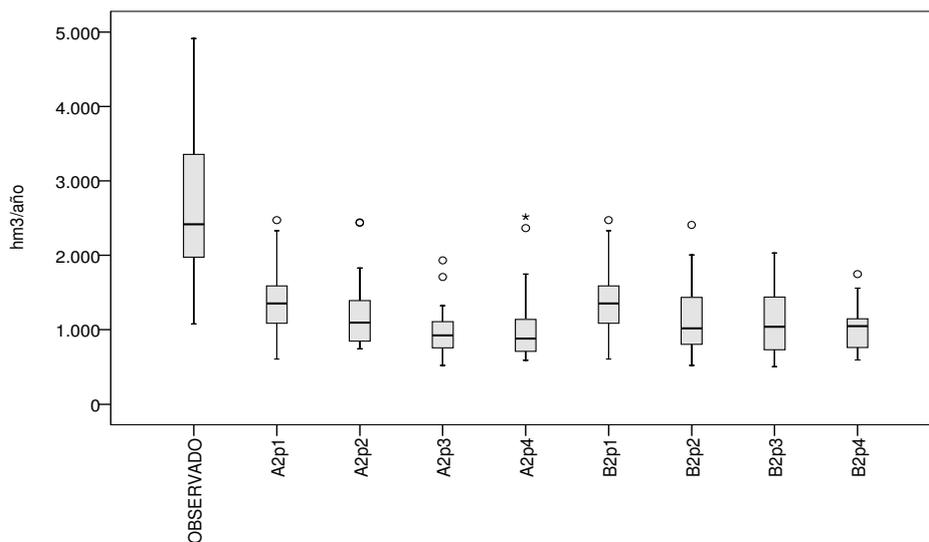


Figura 251. Diagrama de cajas de las series de aportación anual. D. H. del Júcar. ECHAM4-FIC (A2 y B2)



9.3. Proyección HadCM3-SDSM

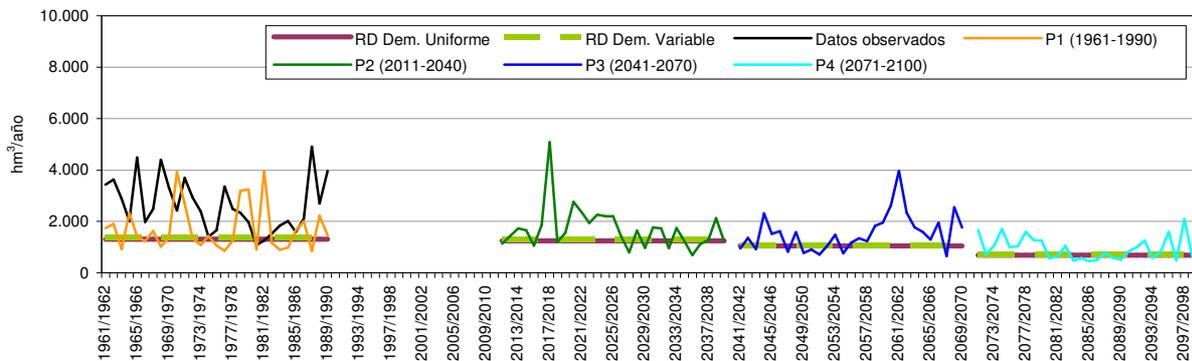


Figura 252. Serie de aportación anual en cada periodo y recurso disponible para la D. H. del Júcar. HadCM3-SDSM-A2

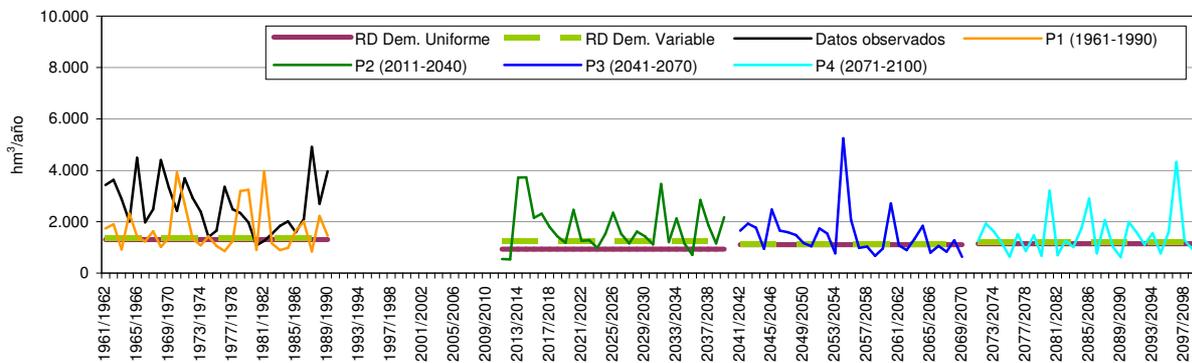


Figura 253. Serie de aportación anual en cada periodo y recurso disponible para la D. H. del Júcar. HadCM3-SDSM-B2

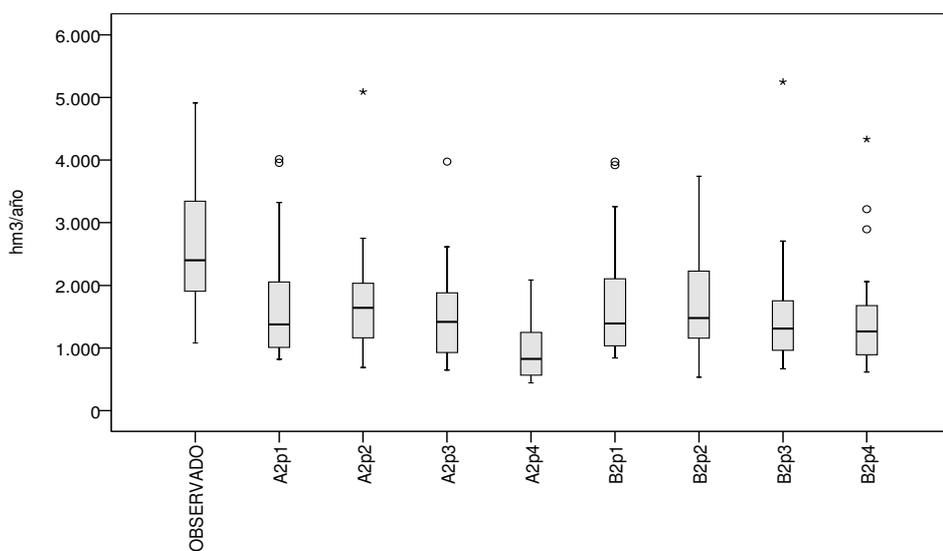


Figura 254. Diagrama de cajas de las series de aportación anual. D. H. del Júcar. HadCM3-SDSM (A2 y B2)

9.4. Proyección ECHAM4-RCAO

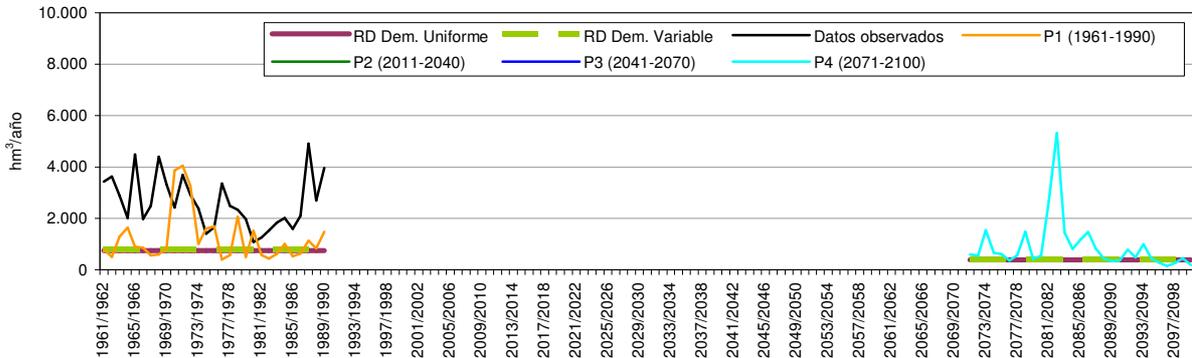


Figura 255. Serie de aportación anual en cada periodo y recurso disponible para la D. H. del Júcar. ECHAM4-RCAO-A2

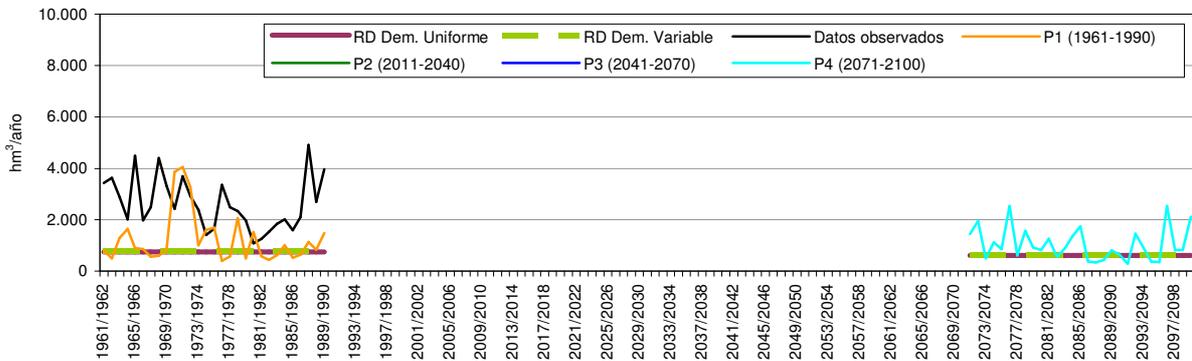


Figura 256. Serie de aportación anual en cada periodo y recurso disponible para la D. H. del Júcar. ECHAM4-RCAO-B2

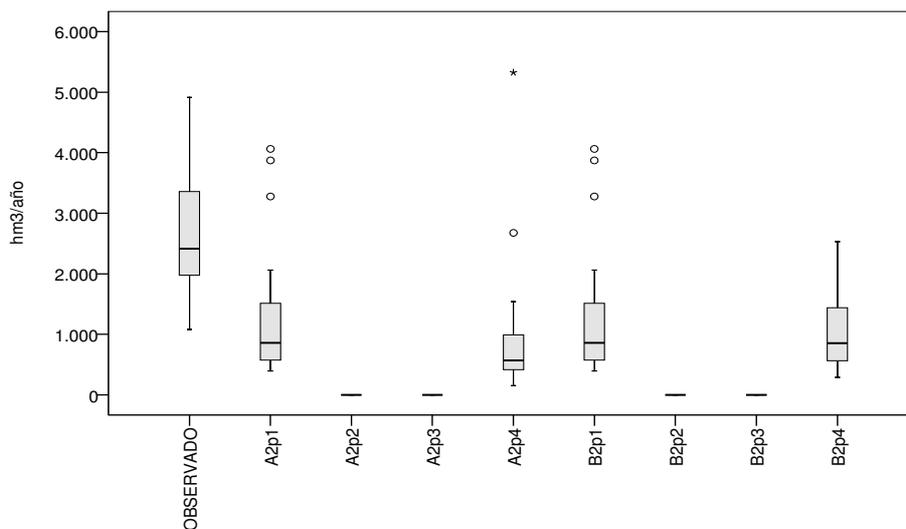


Figura 257. Diagrama de cajas de las series de aportación anual. D. H. del Júcar. ECHAM4-RCAO (A2 y B2)



9.5. Proyección HadAM3-FIC

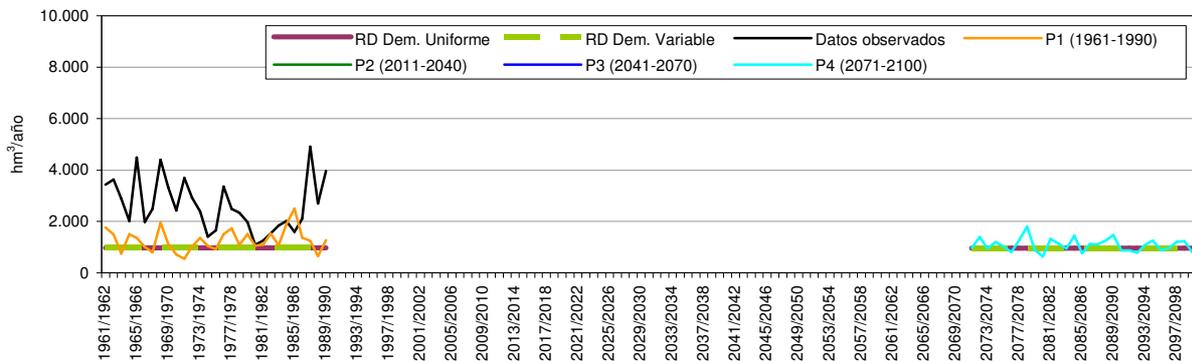


Figura 258. Serie de aportación anual en cada periodo y recurso disponible para la D. H. del Júcar. HadAM3-FIC-A2

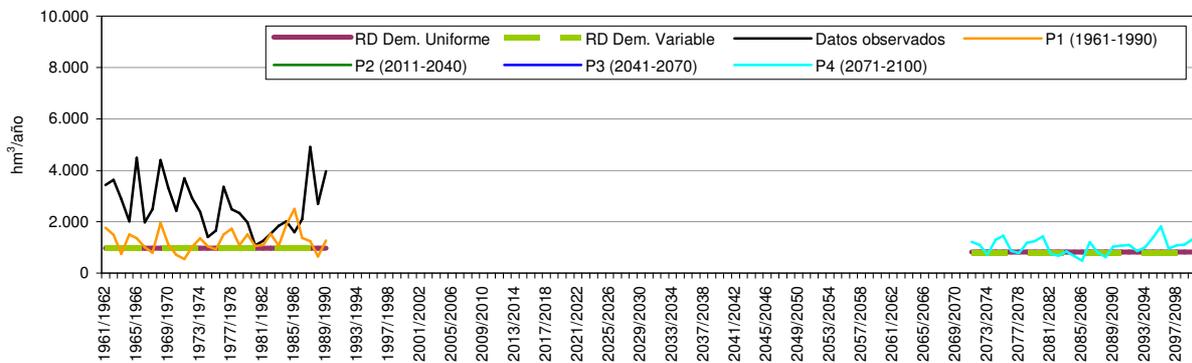


Figura 259. Serie de aportación anual en cada periodo y recurso disponible para la D. H. del Júcar. HadAM3-FIC-B2

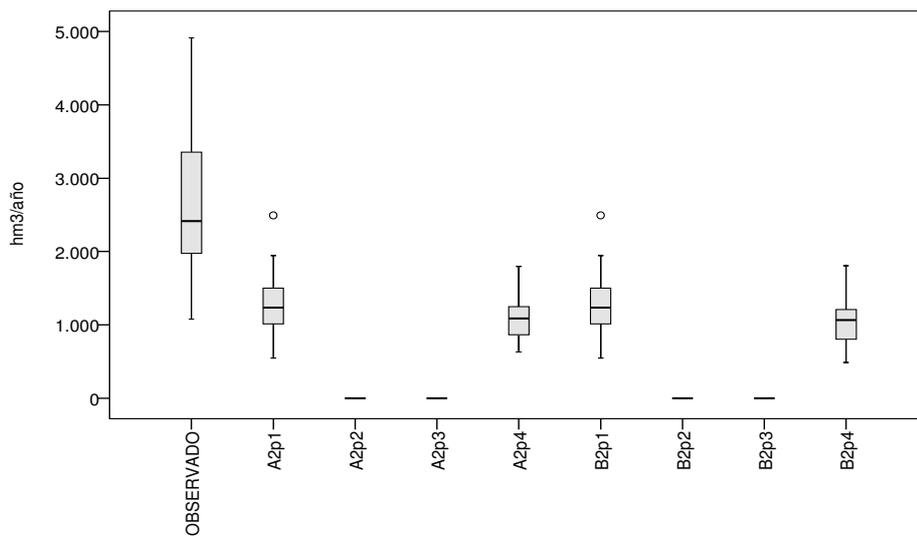


Figura 260. Diagrama de cajas de las series de aportación anual. D. H. del Júcar. HadAM3-FIC (A2 y B2)

9.6. Proyección HadCM3-PROMES

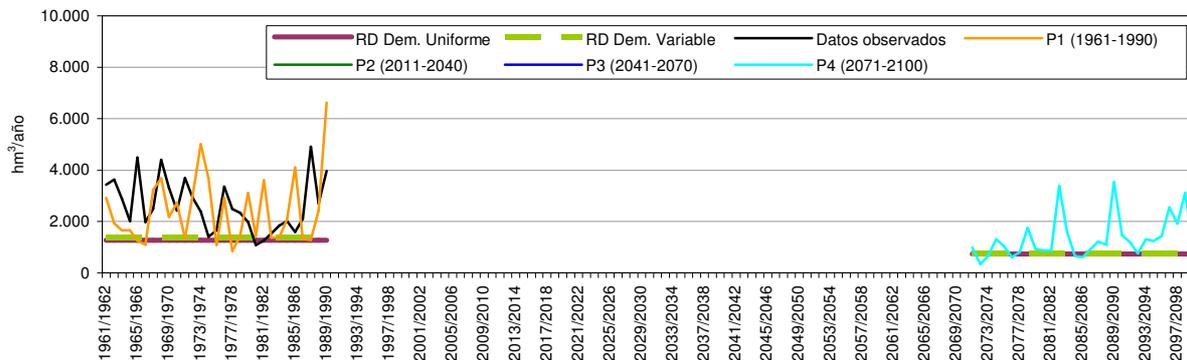


Figura 261. Serie de aportación anual en cada periodo y recurso disponible para la D. H. del Júcar. HadCM3-PROMES-A2

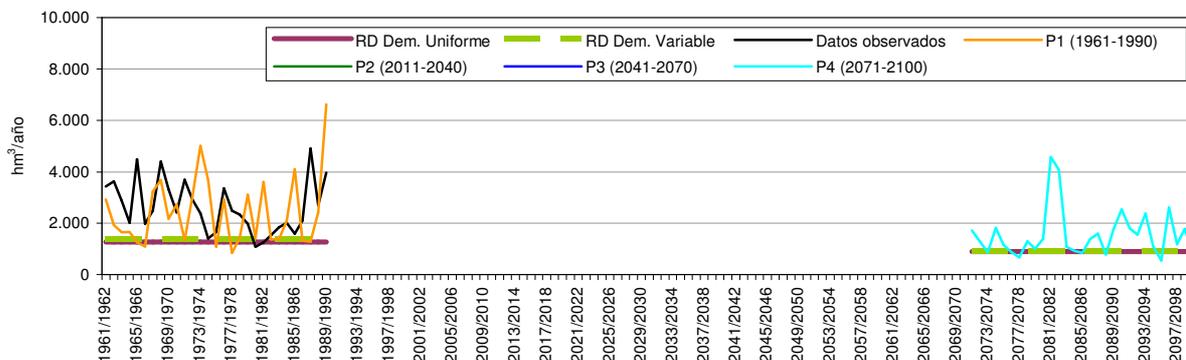


Figura 262. Serie de aportación anual en cada periodo y recurso disponible para la D. H. del Júcar. HadCM3-PROMES-B2

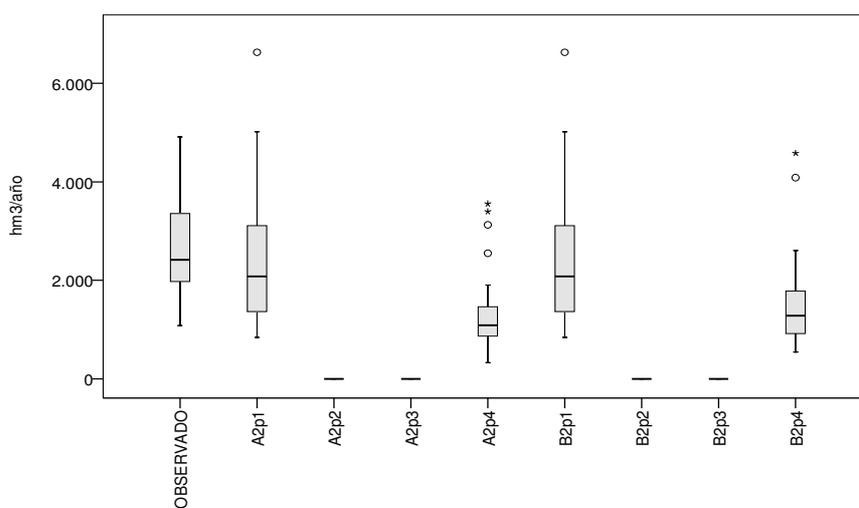


Figura 263. Diagrama de cajas de las series de aportación anual. D. H. del Júcar. HadCM3-PROMES (A2 y B2)



10. DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DEL EBRO

10.1. Proyección CGCM2-FIC

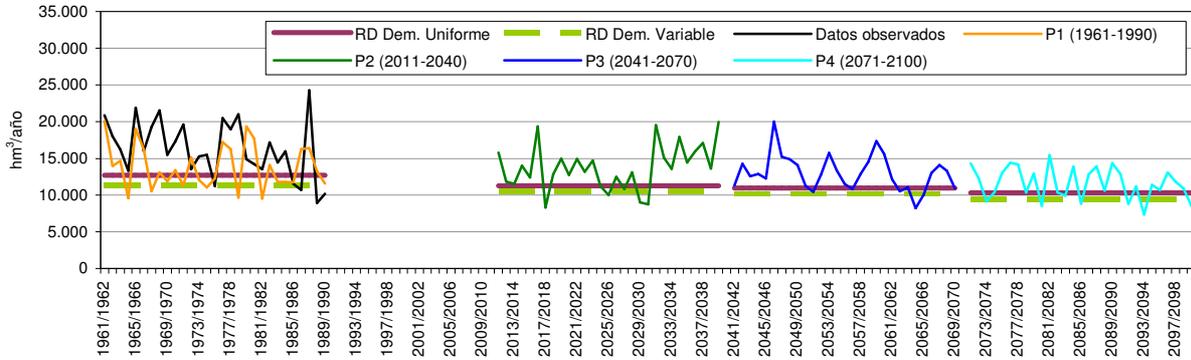


Figura 264. Serie de aportación anual en cada periodo y recurso disponible para la D. H. del Ebro. CGCM2-FIC-A2

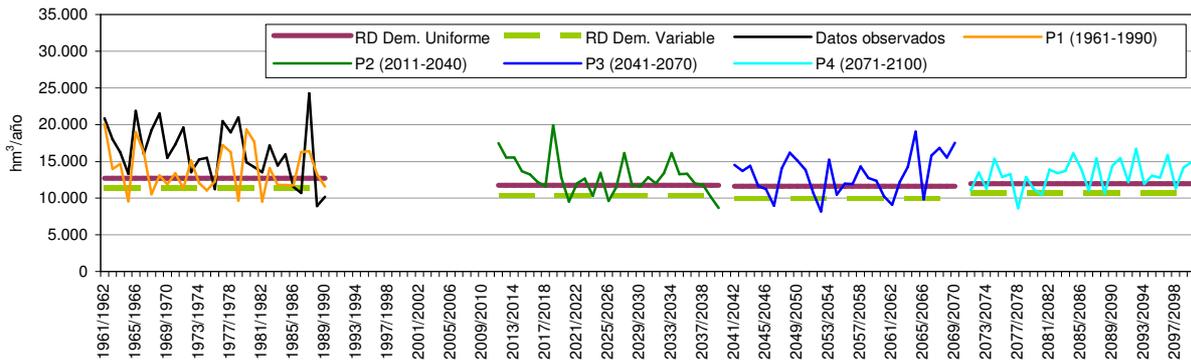


Figura 265. Serie de aportación anual en cada periodo y recurso disponible para la D. H. del Ebro. CGCM2-FIC-B2

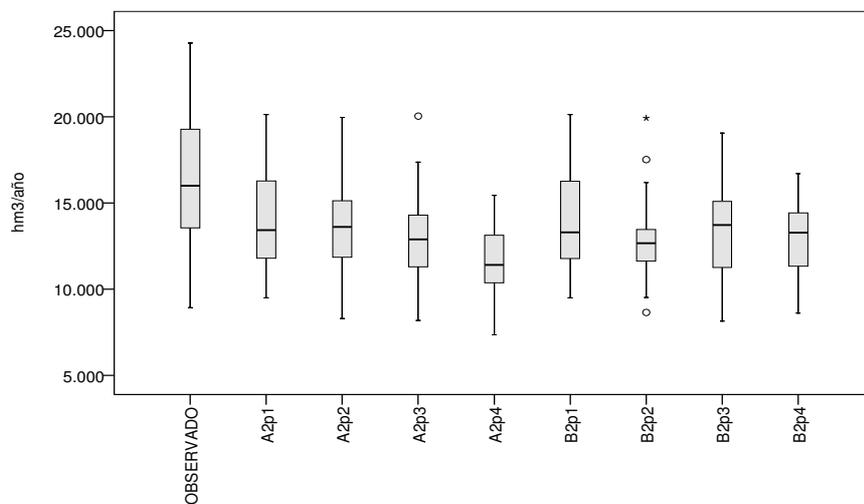


Figura 266. Diagrama de cajas de las series de aportación anual. D. H. del Ebro. CGCM2-FIC (A2 y B2)

10.2. Proyección ECHAM4-FIC

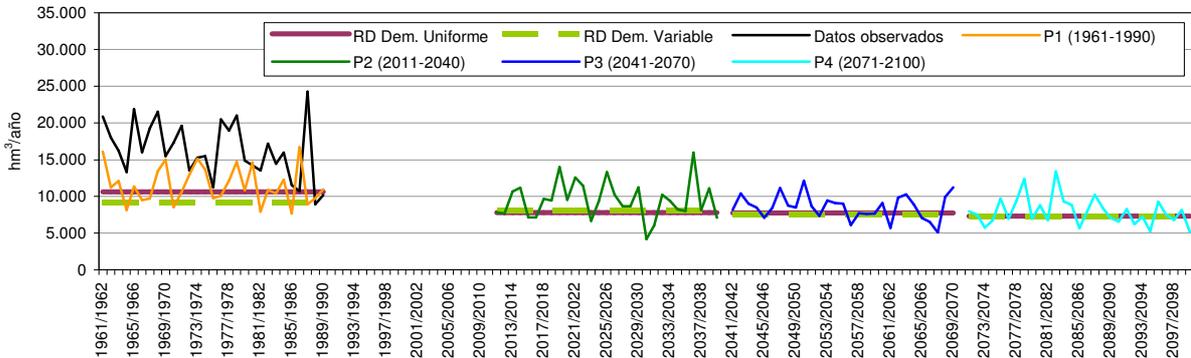


Figura 267. Serie de aportación anual en cada periodo y recurso disponible para la D. H. del Ebro. ECHAM4-FIC-A2

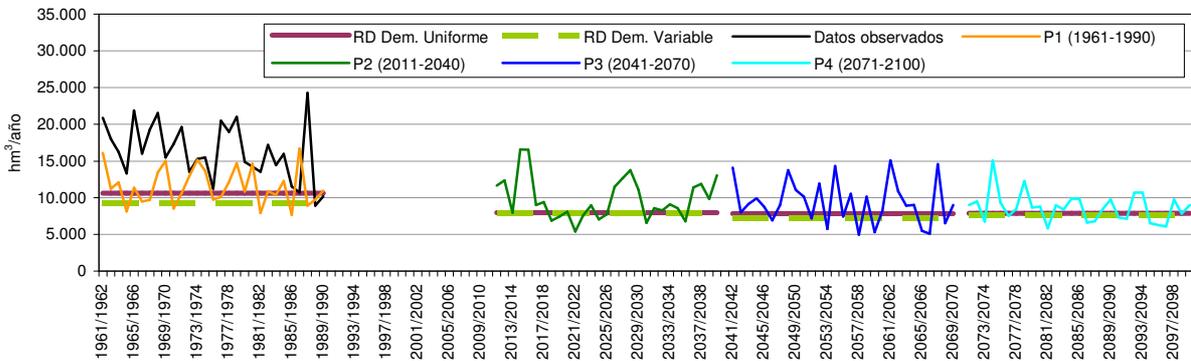


Figura 268. Serie de aportación anual en cada periodo y recurso disponible para la D. H. del Ebro. ECHAM4-FIC-B2

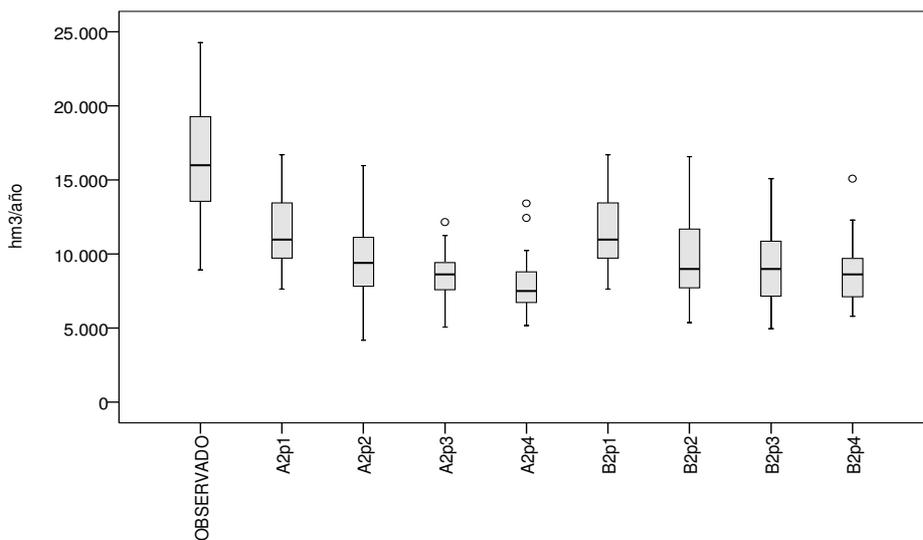


Figura 269. Diagrama de cajas de las series de aportación anual. D. H. del Ebro. ECHAM4-FIC (A2 y B2)



10.3. Proyección HadCM3-SDSM

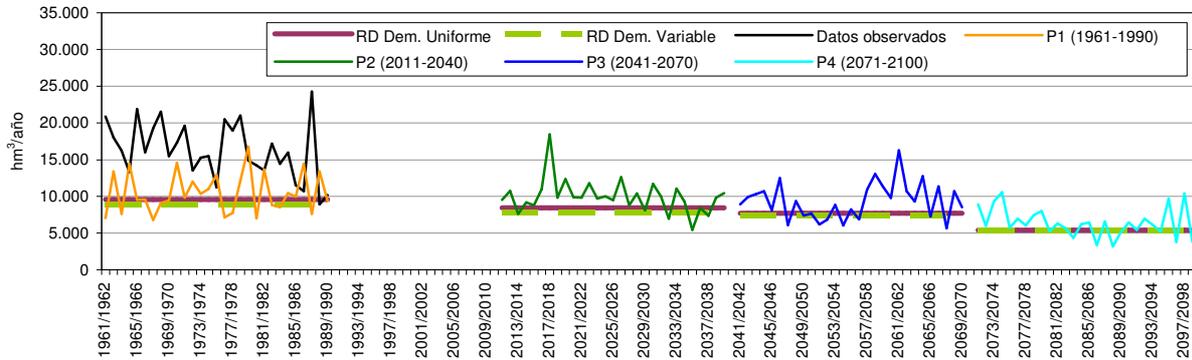


Figura 270. Serie de aportación anual en cada periodo y recurso disponible para la D. H. del Ebro. HadCM3-SDSM-A2

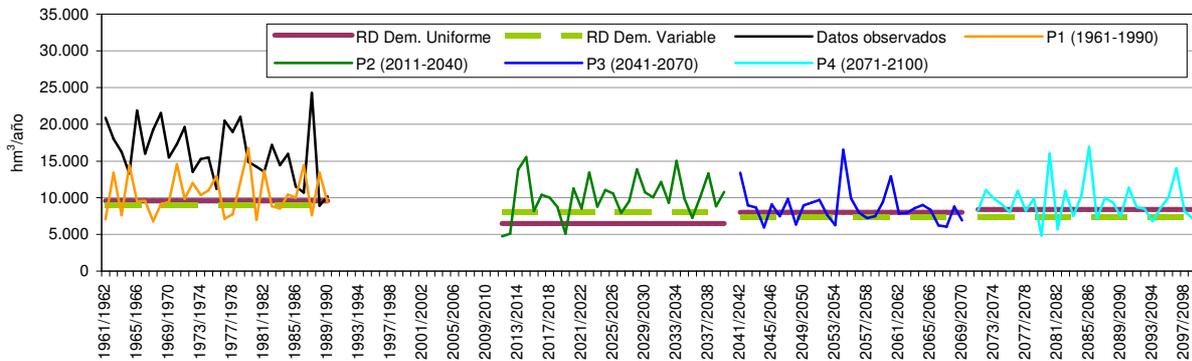


Figura 271. Serie de aportación anual en cada periodo y recurso disponible para la D. H. del Ebro. HadCM3-SDSM-B2

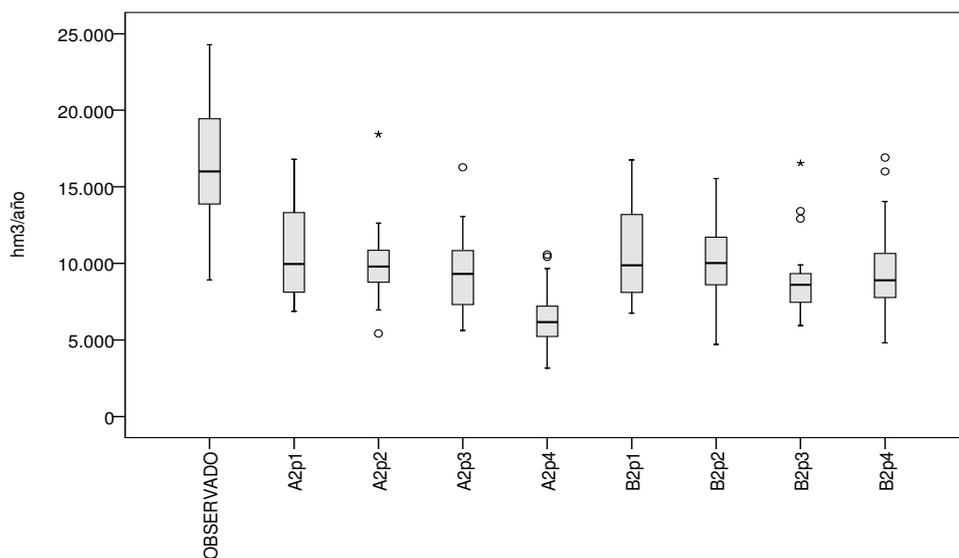


Figura 272. Diagrama de cajas de las series de aportación anual. D. H. del Ebro. HadCM3-SDSM (A2 y B2)

10.4. Proyección ECHAM4-RCAO

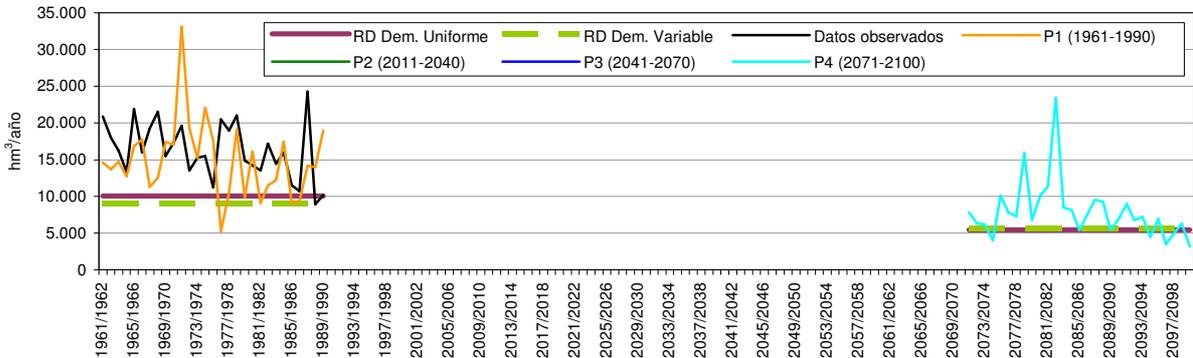


Figura 273. Serie de aportación anual en cada periodo y recurso disponible para la D. H. del Ebro. ECHAM4-RCAO-A2

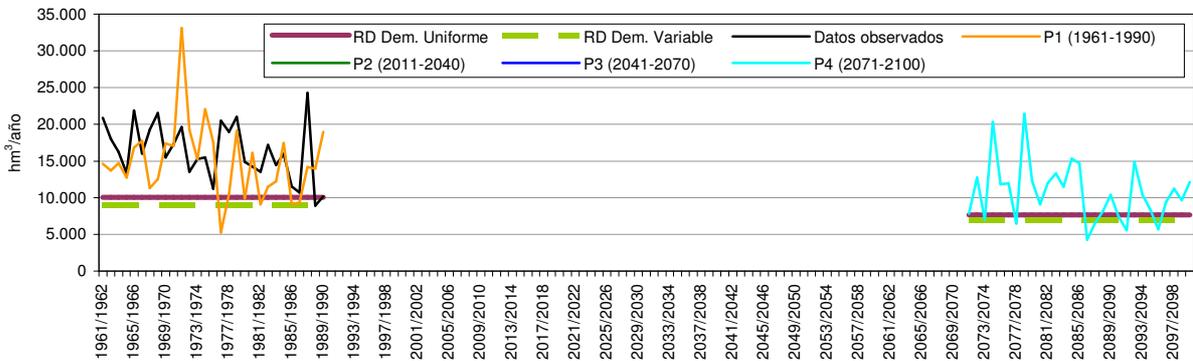


Figura 274. Serie de aportación anual en cada periodo y recurso disponible para la D. H. del Ebro. ECHAM4-RCAO-B2

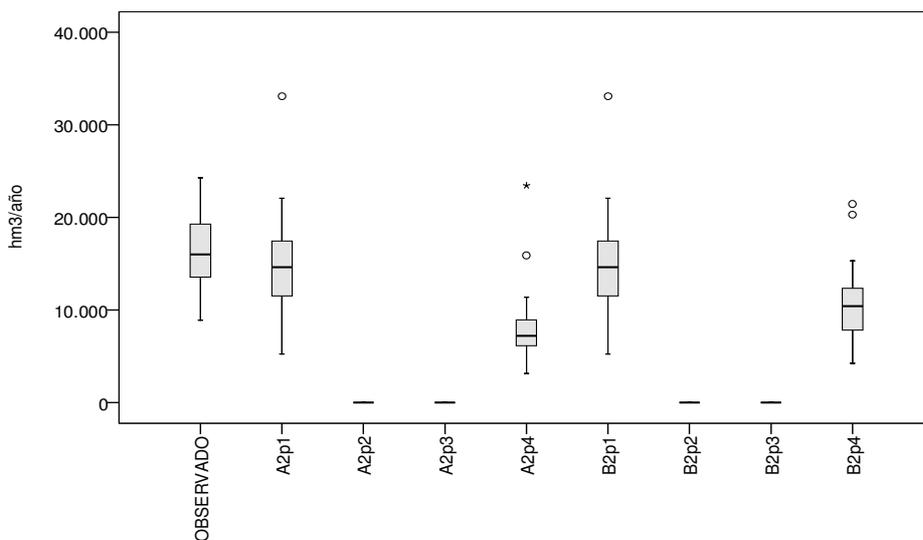


Figura 275. Diagrama de cajas de las series de aportación anual. D. H. del Ebro. ECHAM4-RCAO (A2 y B2)

10.5. Proyección HadAM3-FIC

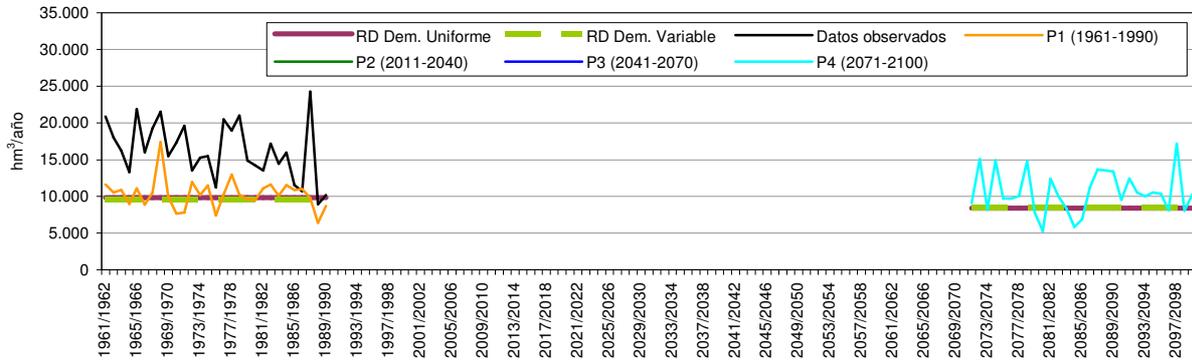


Figura 276. Serie de aportación anual en cada periodo y recurso disponible para la D. H. del Ebro. HadAM3-FIC-A2

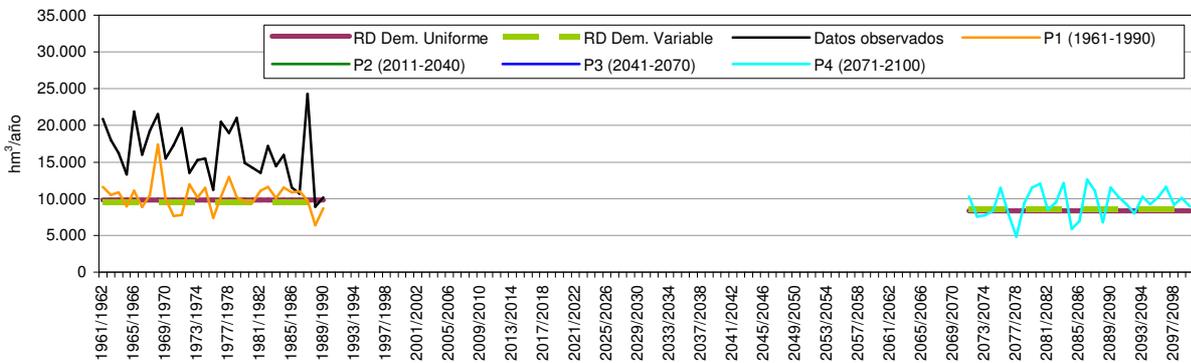


Figura 277. Serie de aportación anual en cada periodo y recurso disponible para la D. H. del Ebro. HadAM3-FIC-B2

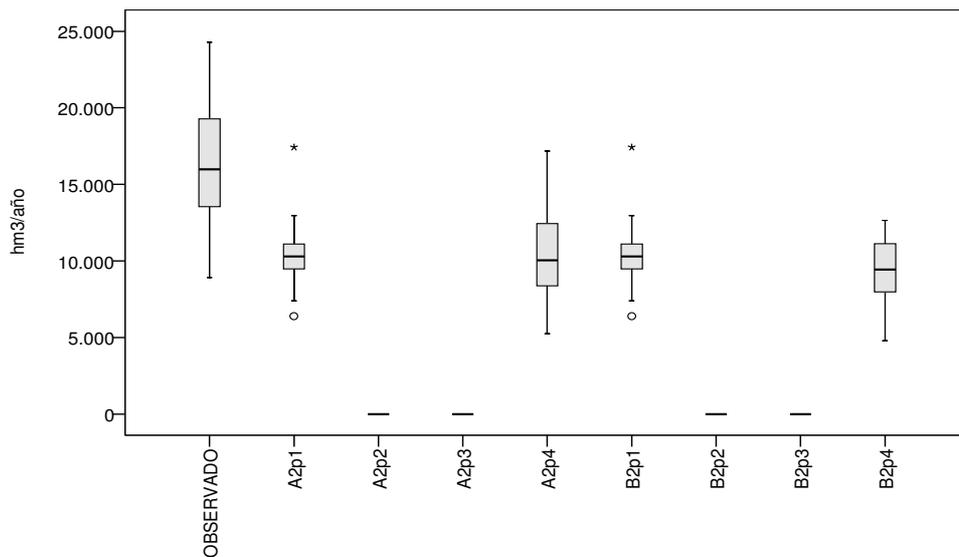


Figura 278. Diagrama de cajas de las series de aportación anual. D. H. del Ebro. HadAM3-FIC (A2 y B2)

10.6. Proyección HadCM3-PROMES

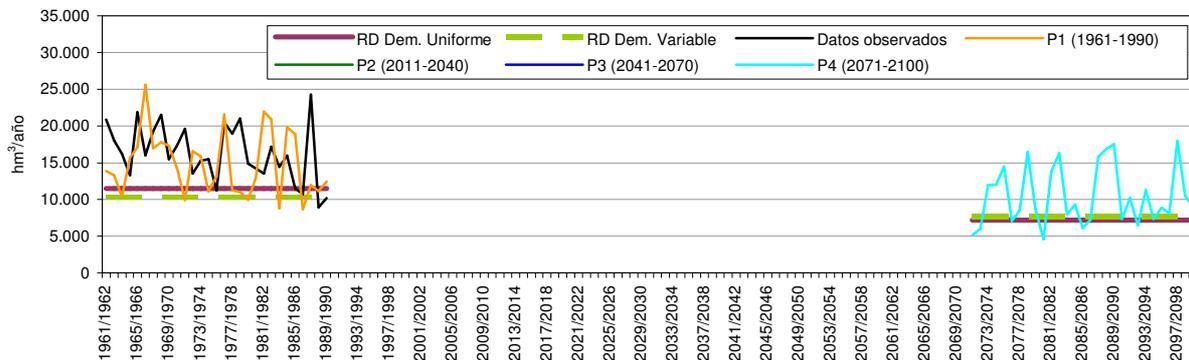


Figura 279. Serie de aportación anual en cada periodo y recurso disponible para la D. H. del Ebro. HadCM3-PROMES-A2

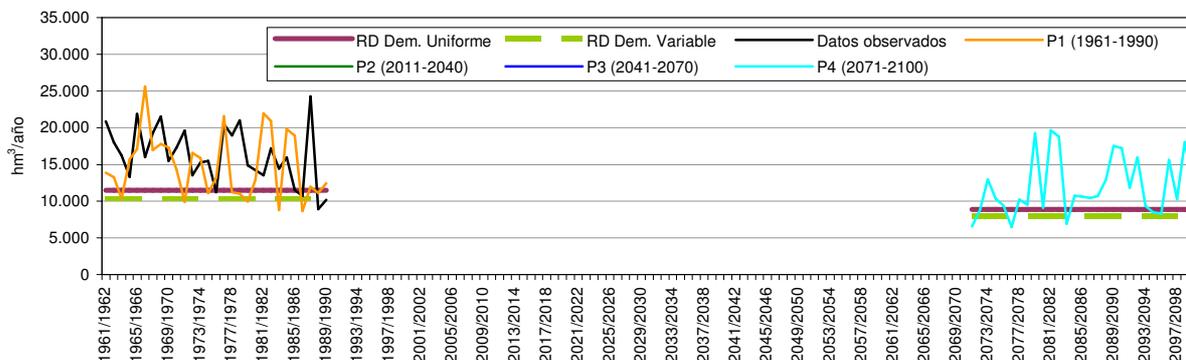


Figura 280. Serie de aportación anual en cada periodo y recurso disponible para la D. H. del Ebro. HadCM3-PROMES-B2

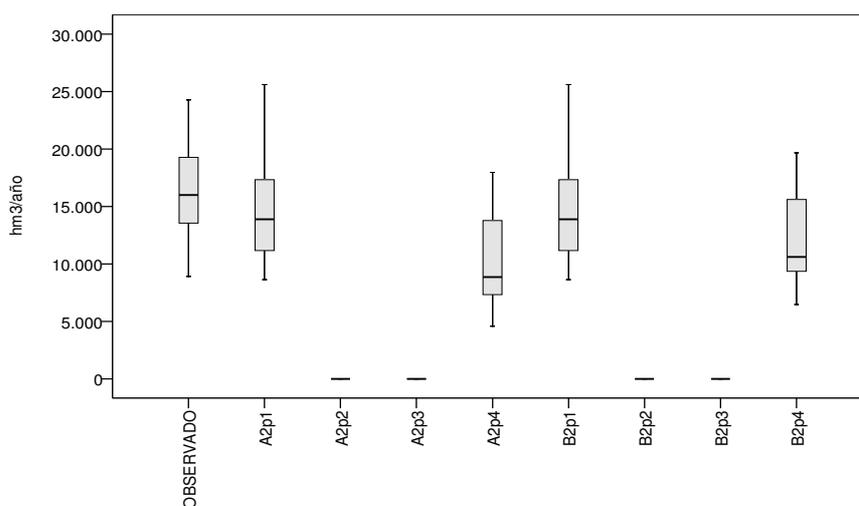


Figura 281. Diagrama de cajas de las series de aportación anual. D. H. del Ebro. HadCM3-PROMES (A2 y B2)



11. DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DE GALICIA-COSTA

11.1. Proyección CGCM2-FIC

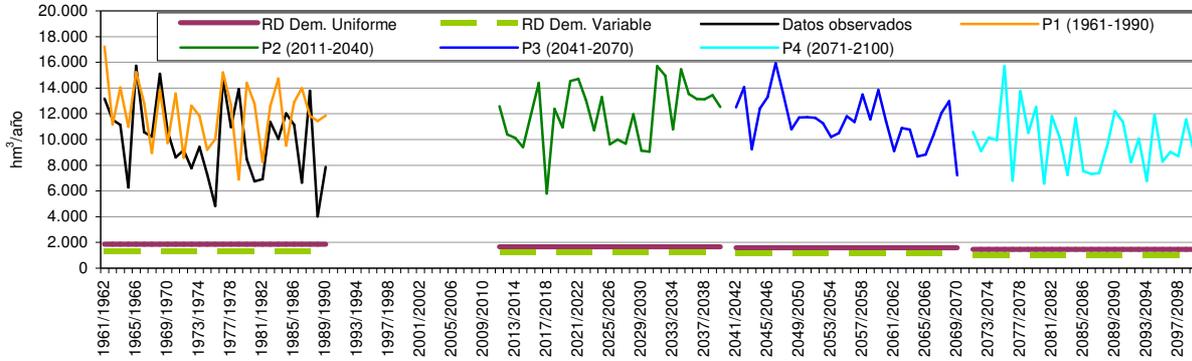


Figura 282. Serie de aportación anual en cada periodo y recurso disponible para la D. H. de Galicia Costa. CGCM2-FIC-A2

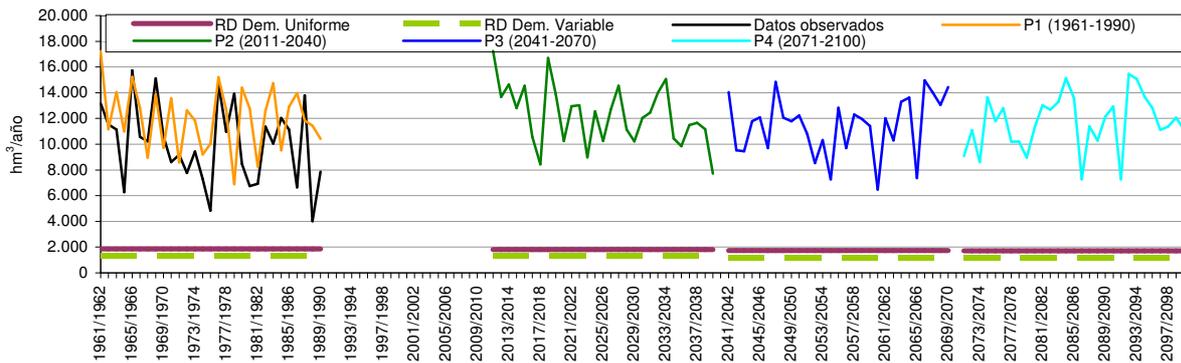


Figura 283. Serie de aportación anual en cada periodo y recurso disponible para la D. H. de Galicia Costa. CGCM2-FIC-B2

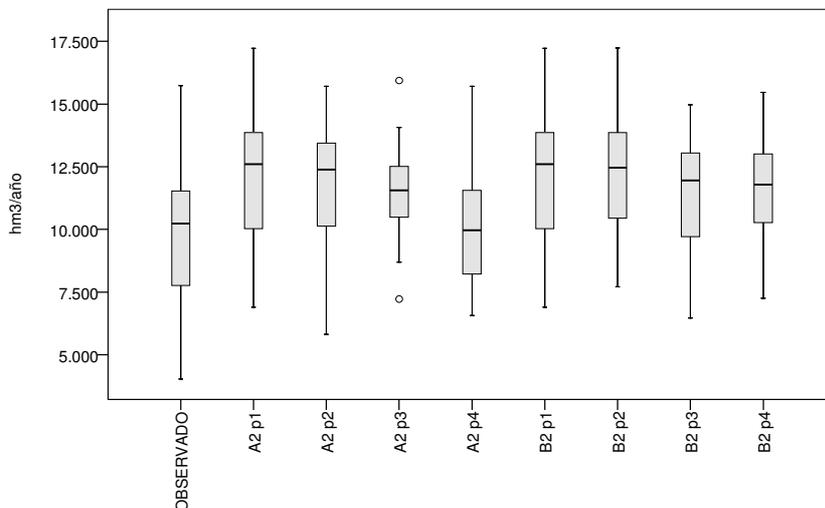


Figura 284. Diagrama de cajas de las series de aportación anual. D. H. de Galicia Costa. CGCM2-FIC (A2 y B2)

11.2. Proyección ECHAM4-FIC

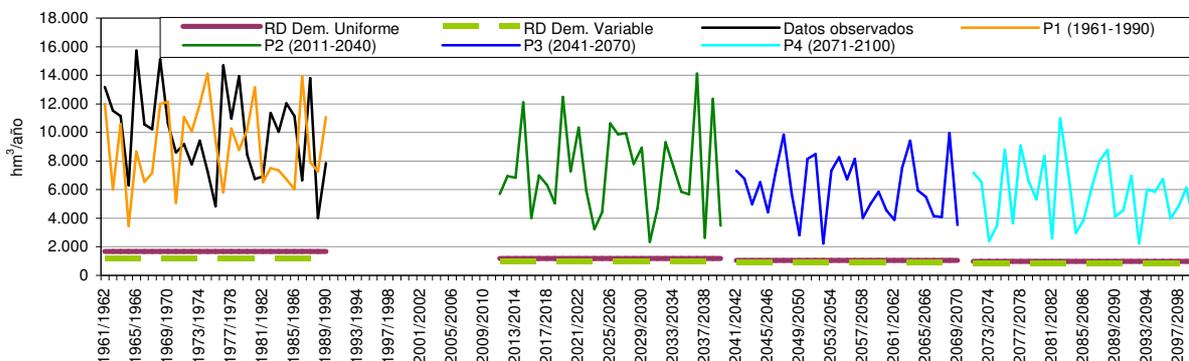


Figura 285. Serie de aportación anual en cada periodo y recurso disponible para la D. H. de Galicia Costa. ECHAM4-FIC-A2

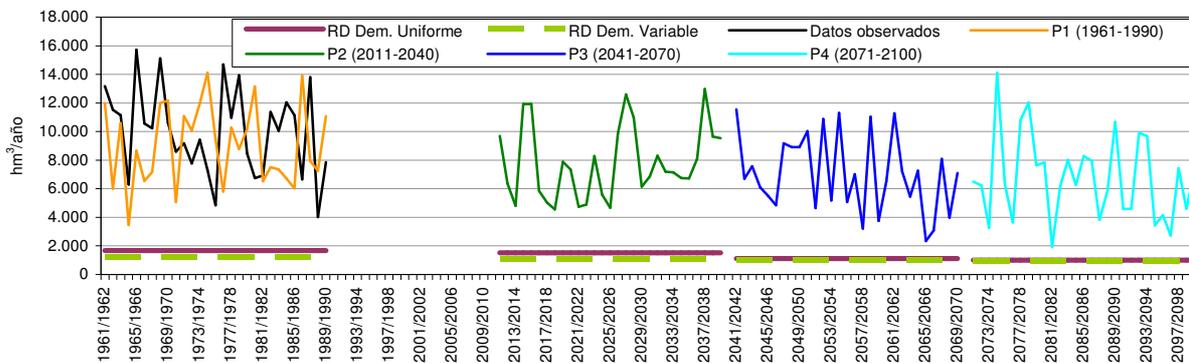


Figura 286. Serie de aportación anual en cada periodo y recurso disponible para la D. H. de Galicia Costa. ECHAM4-FIC-B2

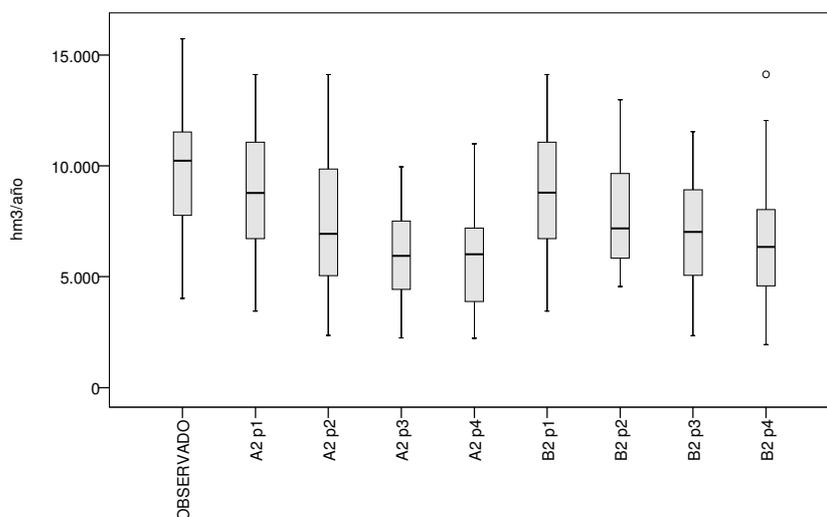


Figura 287. Diagrama de cajas de las series de aportación anual. D. H. de Galicia Costa. ECHAM4-FIC (A2 y B2)



11.3. Proyección HadCM3-SDSM

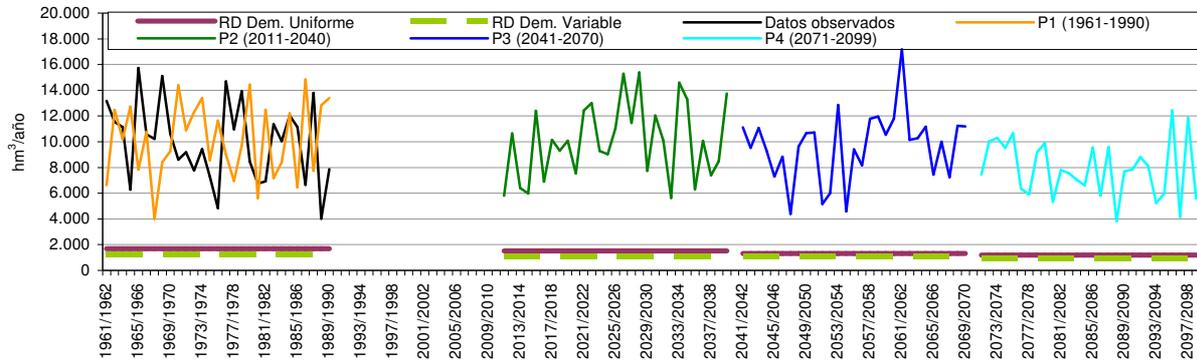


Figura 288. Serie de aportación anual en cada periodo y recurso disponible para la D. H. de Galicia Costa. HadCM3-SDSM-A2

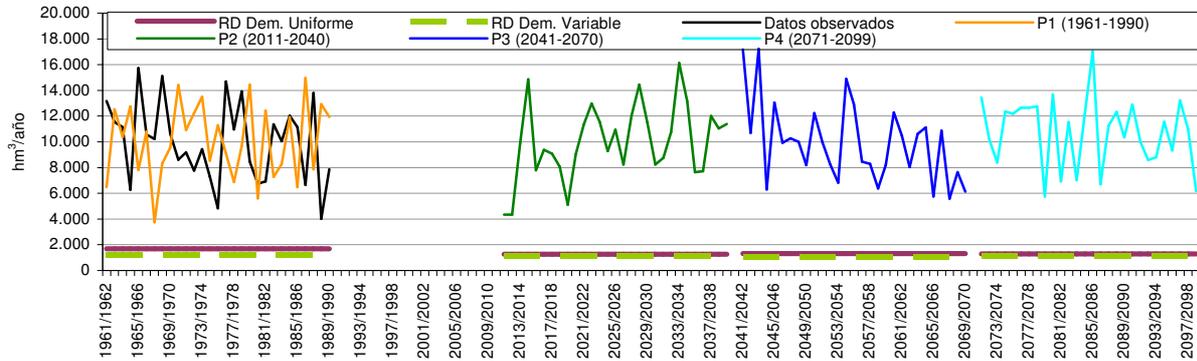


Figura 289. Serie de aportación anual en cada periodo y recurso disponible para la D. H. de Galicia Costa. Proyección HadCM3-SDSM-B2

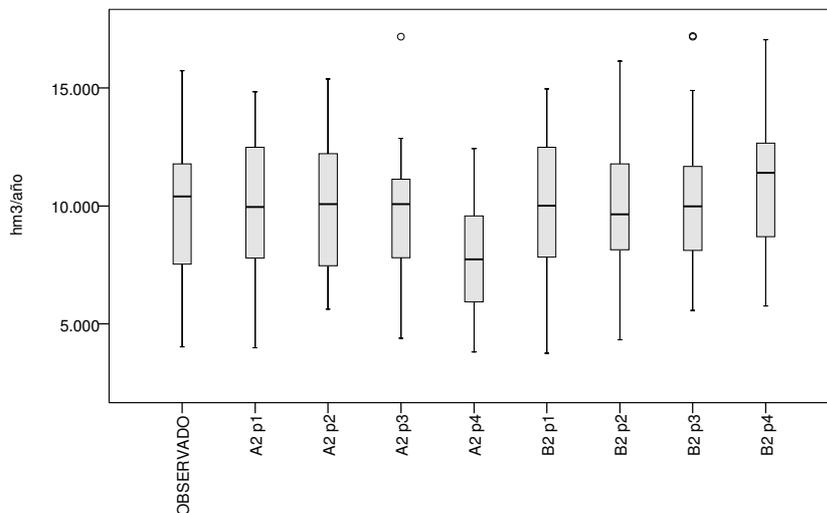


Figura 290. Diagrama de cajas de las series de aportación anual. D. H. de Galicia Costa. HadCM3-SDSM (A2 y B2)

11.4. Proyección ECHAM4-RCAO

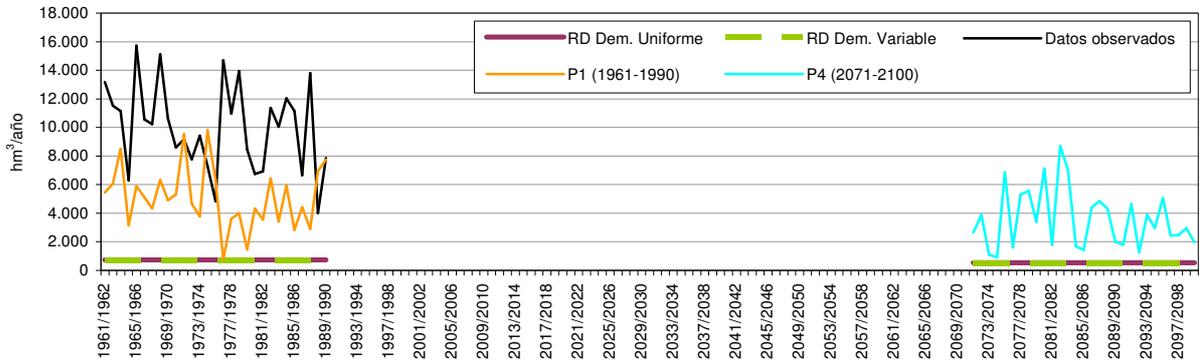


Figura 291. Serie de aportación anual en cada periodo y recurso disponible para la D. H. de Galicia Costa. Proyección ECHAM4-RCAO-A2

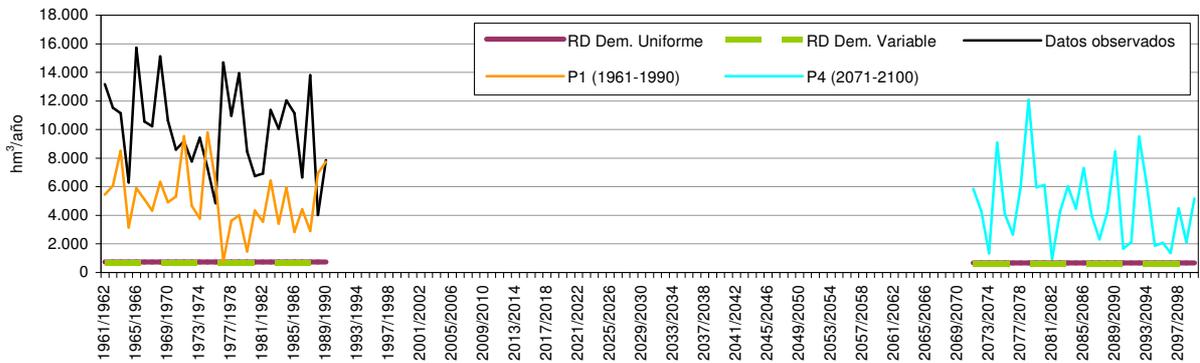


Figura 292. Serie de aportación anual en cada periodo y recurso disponible para la D. H. de Galicia Costa.. Proyección ECHAM4-RCAO-B2

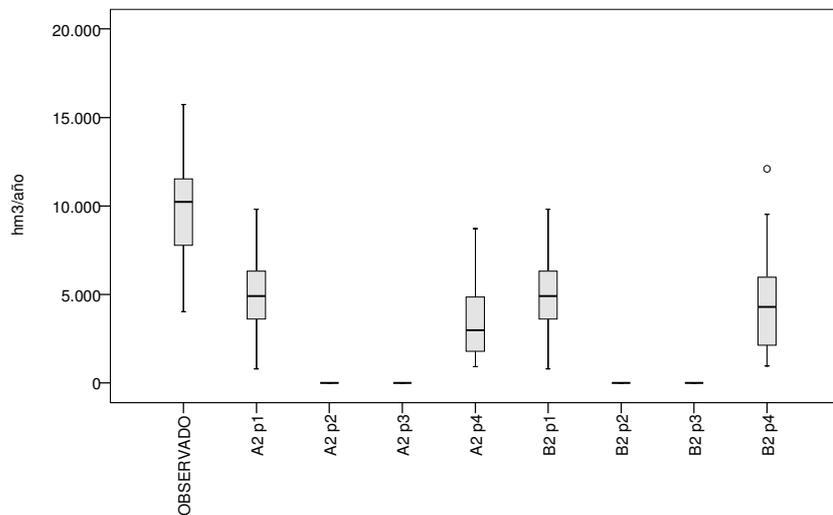


Figura 293. Diagrama de cajas de las series de aportación anual. D. H. de Galicia Costa.. ECHAM4-RCAO (A2 y B2)



11.5. Proyección HadAM3-FIC

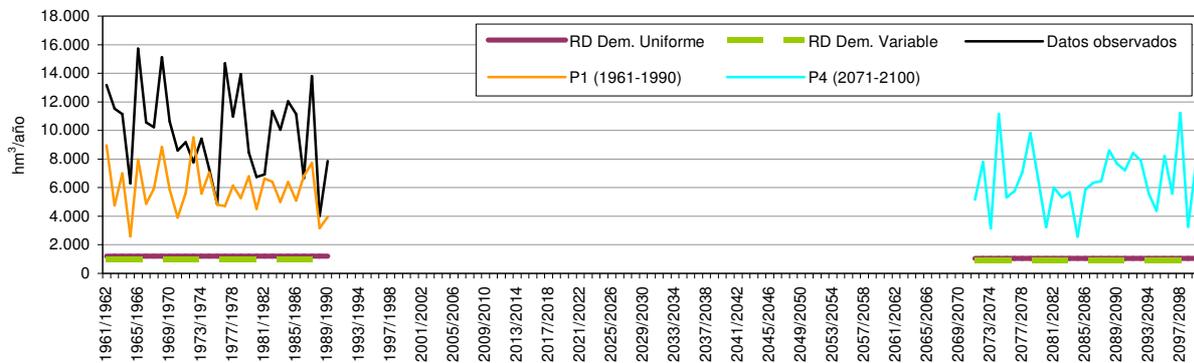


Figura 294. Serie de aportación anual en cada periodo y recurso disponible para la D. H. de Galicia Costa.. HadAM3-FIC-A2

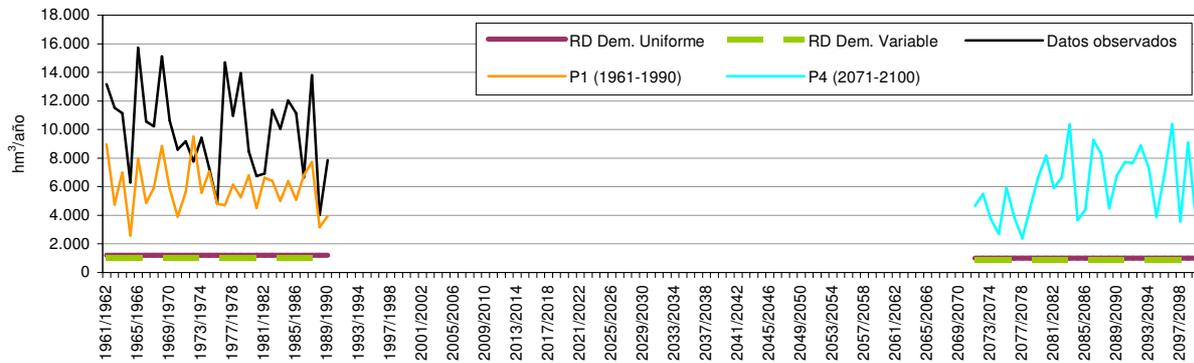


Figura 295. Serie de aportación anual en cada periodo y recurso disponible para la D. H. de Galicia Costa.. HadAM3-FIC-B2

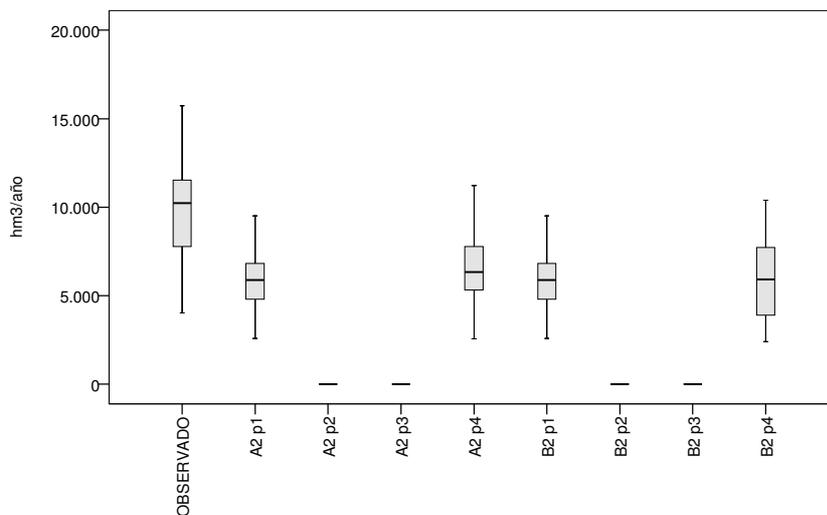


Figura 296. Diagrama de cajas de las series de aportación anual. D. H. de Galicia Costa.. HadAM3-FIC (A2 y B2)

11.6. Proyección HadCM3-PROMES

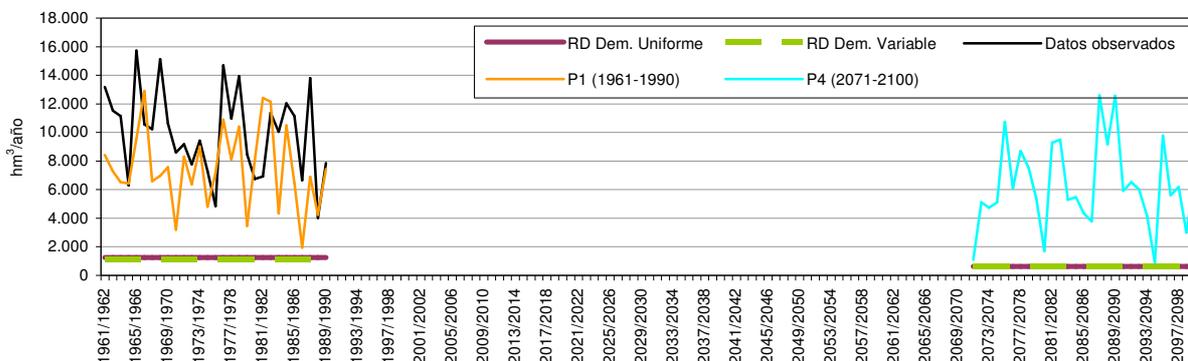


Figura 297. Serie de aportación anual en cada periodo y recurso disponible para la D. H. de Galicia Costa.. Proyección HadCM3-PROMES-A2

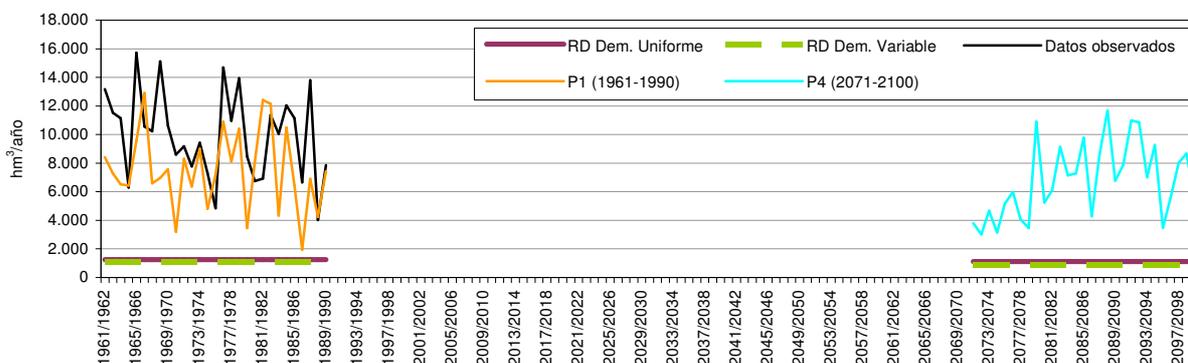


Figura 298. Serie de aportación anual en cada periodo y recurso disponible para la D. H. de Galicia Costa.. Proyección HadCM3-PROMES-B2

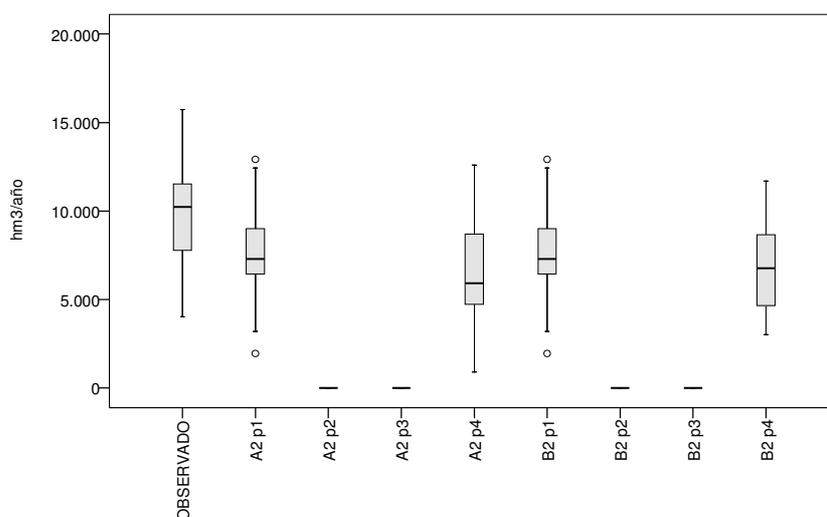


Figura 299. Diagrama de cajas de las series de aportación anual. D. H. de Galicia Costa.. HadCM3-PROMES (A2 y B2)



12. DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA TINTO, ODIEL Y PIEDRAS

12.1. Proyección CGCM2-FIC

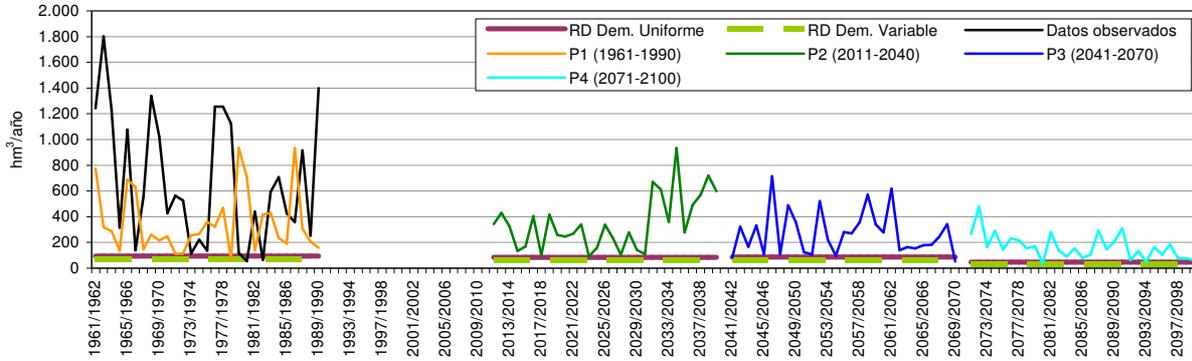


Figura 300. Serie de aportación anual en cada periodo y recurso disponible para la D. H. del Tinto, Odiel y Piedras. CGCM2-FIC-A2

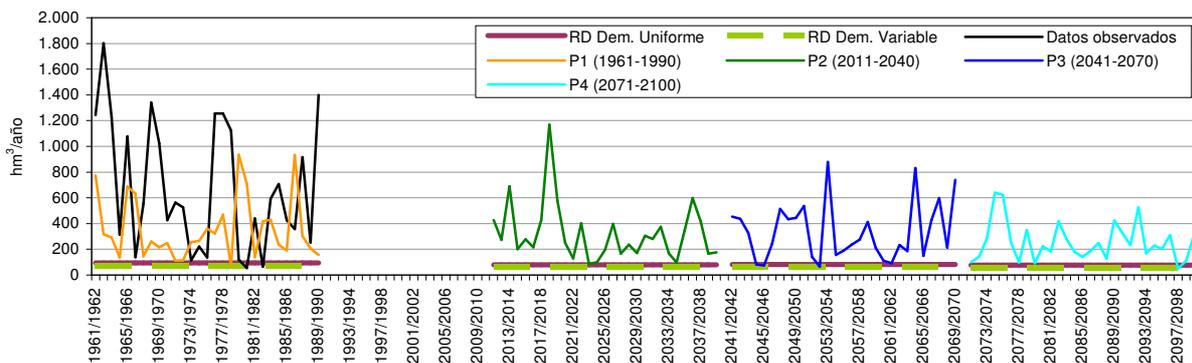


Figura 301. Serie de aportación anual en cada periodo y recurso disponible para la D. H. del Tinto, Odiel y Piedras. CGCM2-FIC-B2

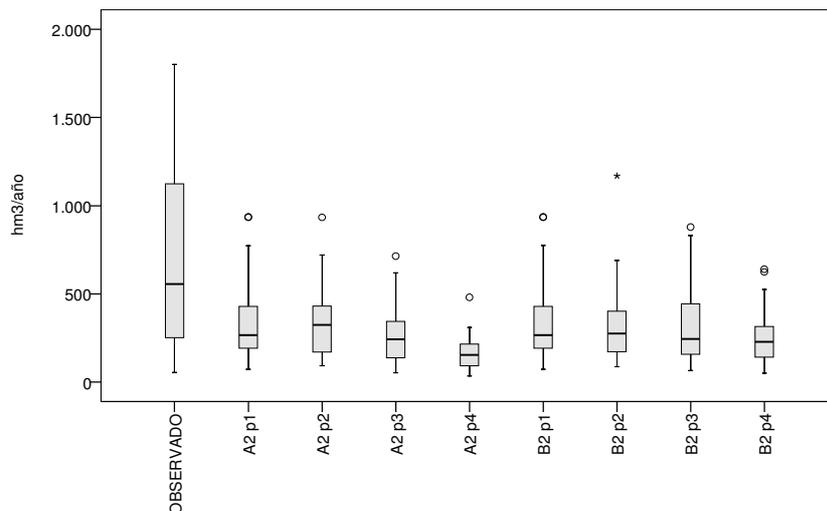


Figura 302. Diagrama de cajas de las series de aportación anual. D. H. del Tinto, Odiel y Piedras. CGCM2-FIC (A2 y B2)

12.2. Proyección ECHAM4-FIC

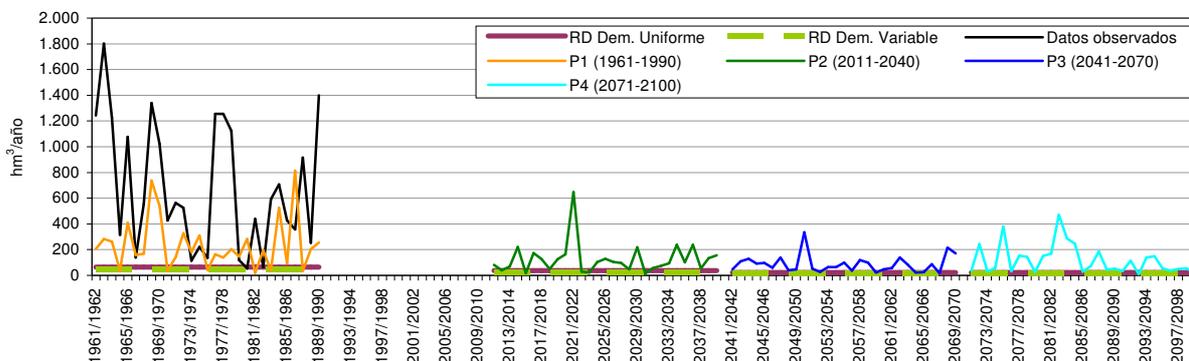


Figura 303. Serie de aportación anual en cada periodo y recurso disponible para la D. H. del Tinto, Odiel y Piedras. ECHAM4-FIC-A2

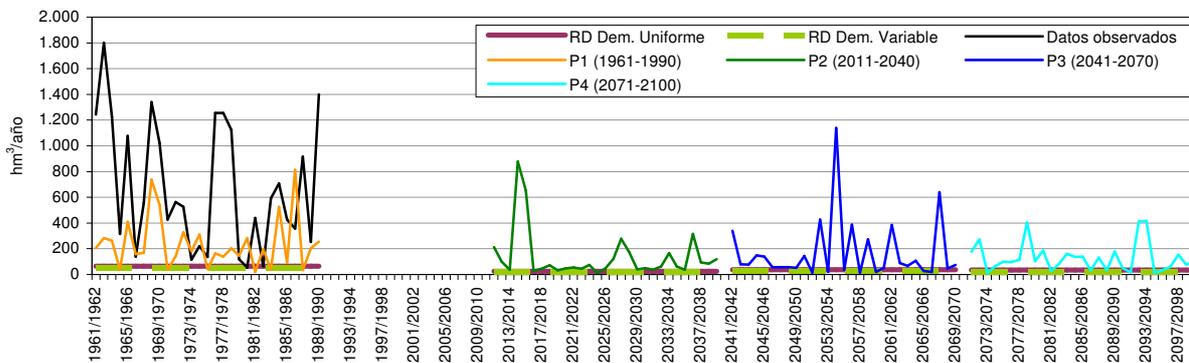


Figura 304. Serie de aportación anual en cada periodo y recurso disponible para la D. H. del Tinto, Odiel y Piedras. ECHAM4-FIC-B2

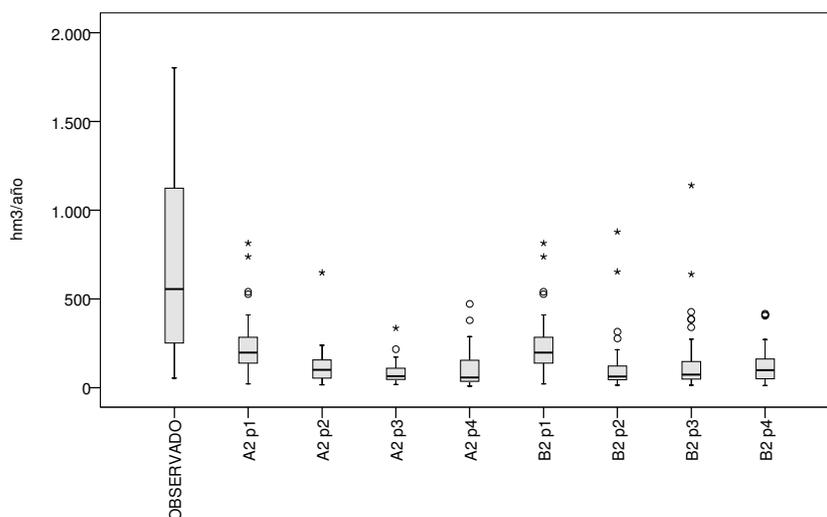


Figura 305. Diagrama de cajas de las series de aportación anual. D. H. del Tinto, Odiel y Piedras. ECHAM4-FIC (A2 y B2)



12.3. Proyección HadCM3-SDSM

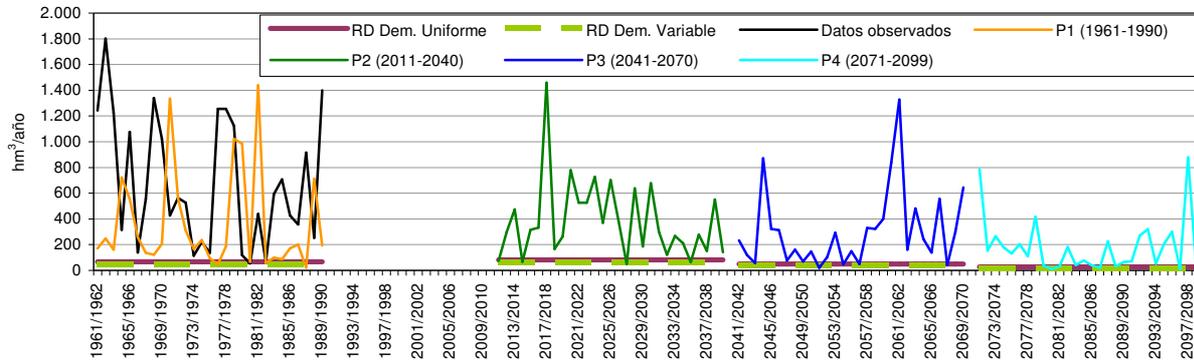


Figura 306. Serie de aportación anual en cada periodo y recurso disponible para la D. H. del Tinto, Odiel y Piedras. HadCM3-SDSM-A2

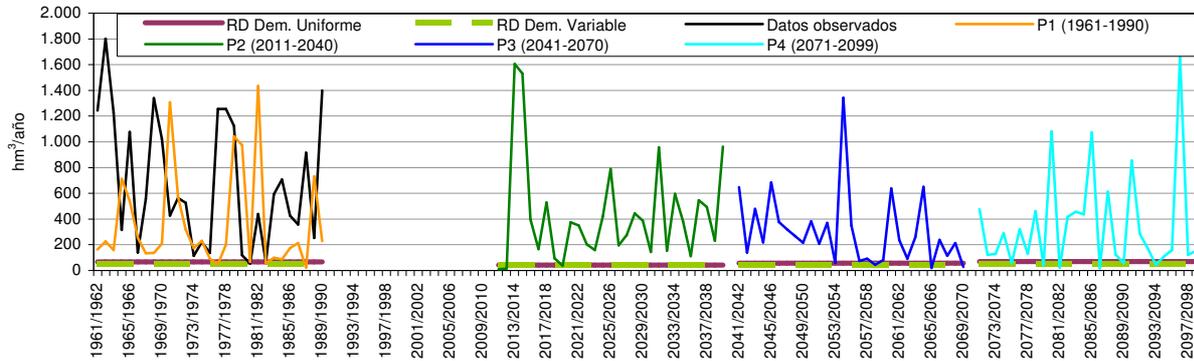


Figura 307. Serie de aportación anual en cada periodo y recurso disponible para la D. H. del Tinto, Odiel y Piedras. HadCM3-SDSM-B2

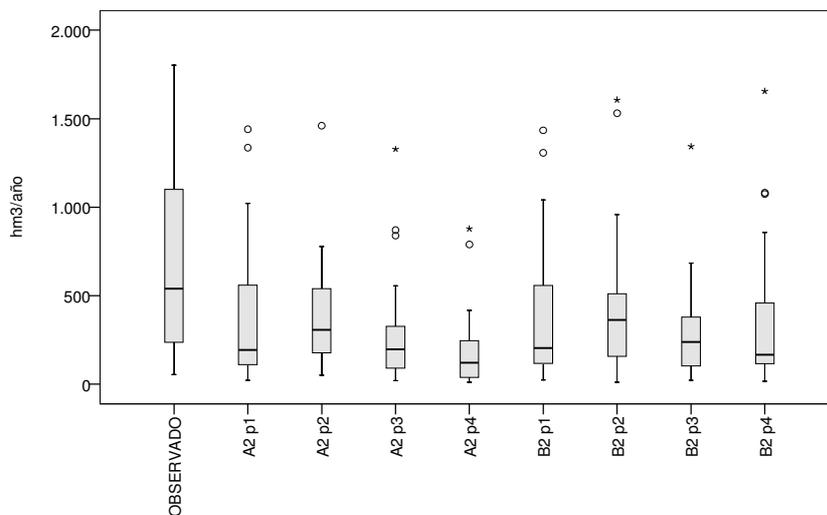


Figura 308. Diagrama de cajas de las series de aportación anual. D. H. del Tinto, Odiel y Piedras. HadCM3-SDSM (A2 y B2)

12.4. Proyección ECHAM4-RCAO

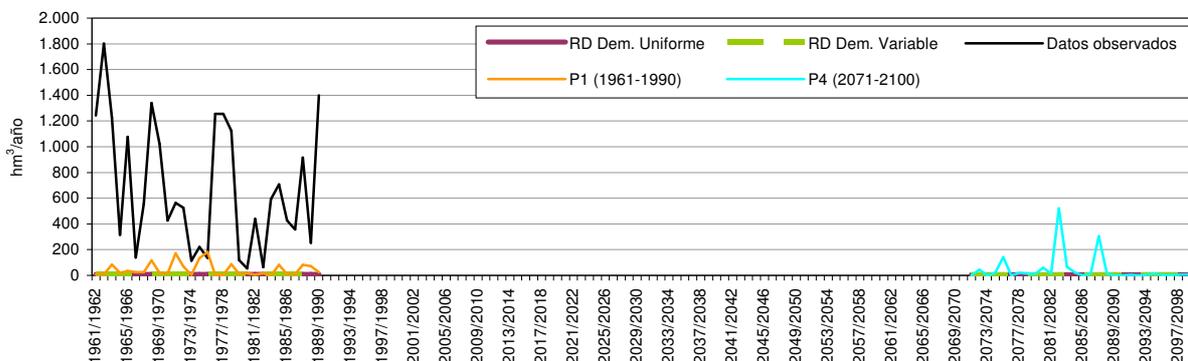


Figura 309. Serie de aportación anual en cada periodo y recurso disponible para la D. H. del Tinto, Odiel y Piedras. ECHAM4-RCAO-A2

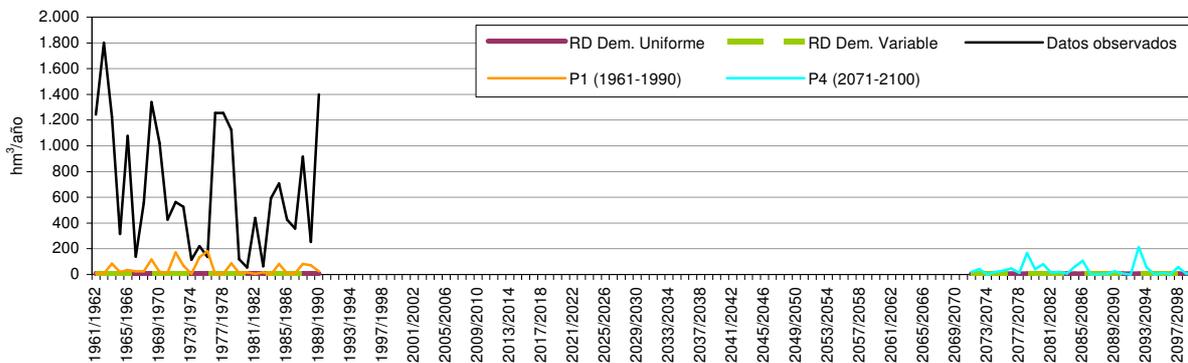


Figura 310. Serie de aportación anual en cada periodo y recurso disponible para la D. H. del Tinto, Odiel y Piedras. ECHAM4-RCAO-B2

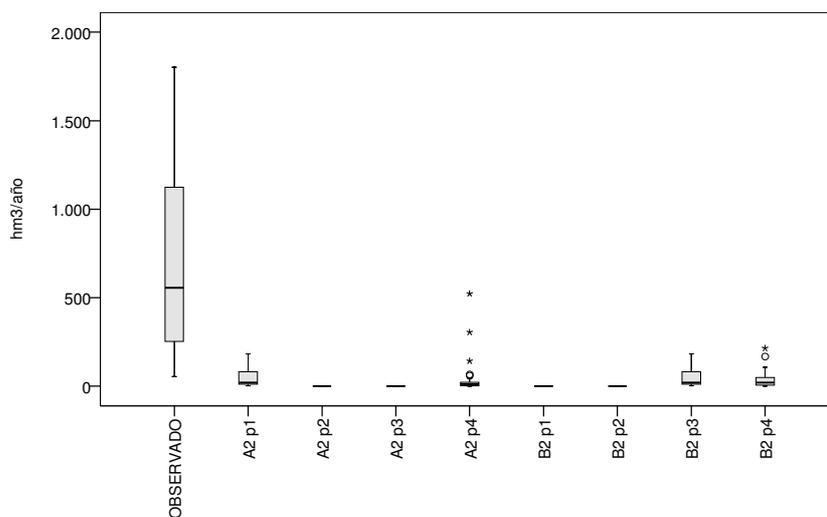


Figura 311. Diagrama de cajas de las series de aportación anual. D. H. del Tinto, Odiel y Piedras. ECHAM4-RCAO (A2 y B2)

12.5. Proyección HadAM3-FIC

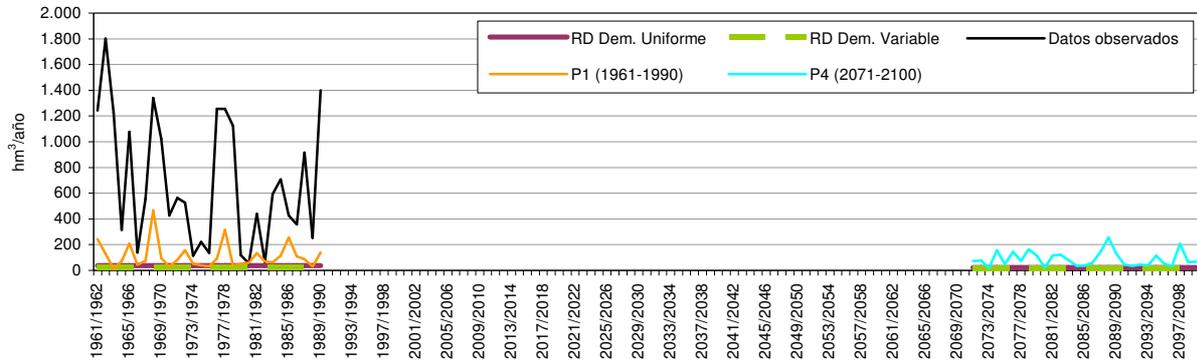


Figura 312. Serie de aportación anual en cada periodo y recurso disponible para la D. H. del Tinto, Odiel y Piedras. HadAM3-FIC-A2

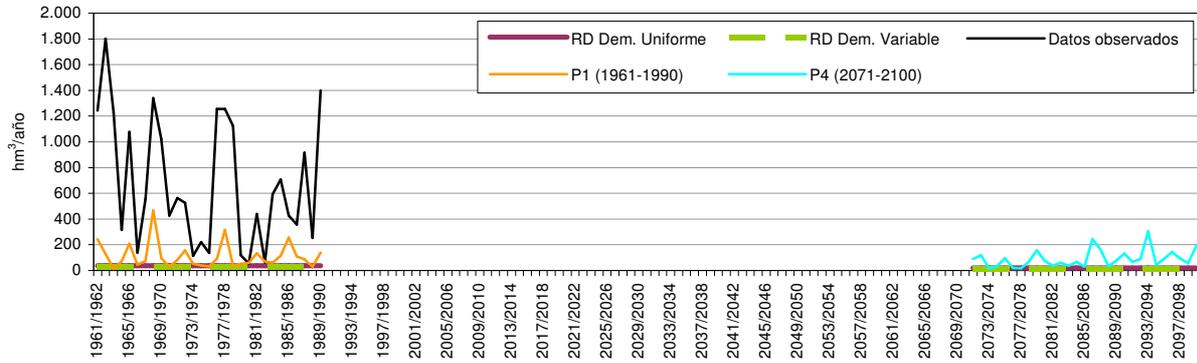


Figura 313. Serie de aportación anual en cada periodo y recurso disponible para la D. H. del Tinto, Odiel y Piedras. HadAM3-FIC-B2

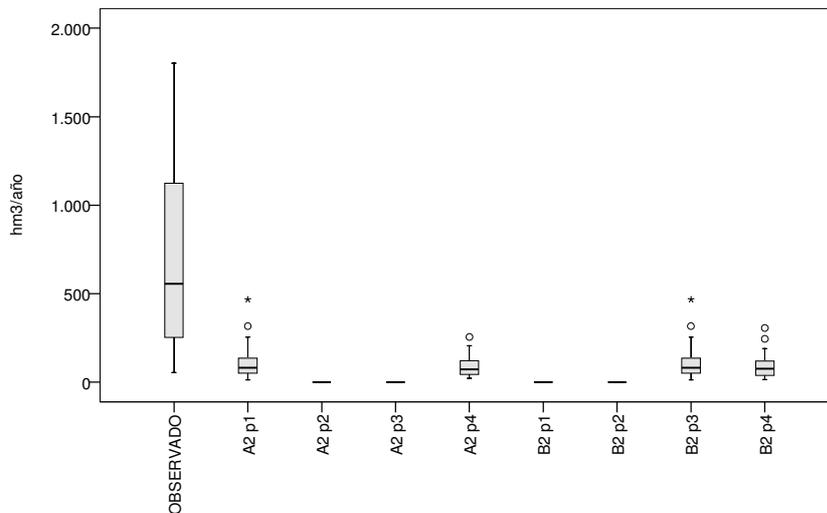


Figura 314. Diagrama de cajas de las series de aportación anual. D. H. del Tinto, Odiel y Piedras. HadAM3-FIC (A2 y B2)

12.6. Proyección HadCM3-PROMES

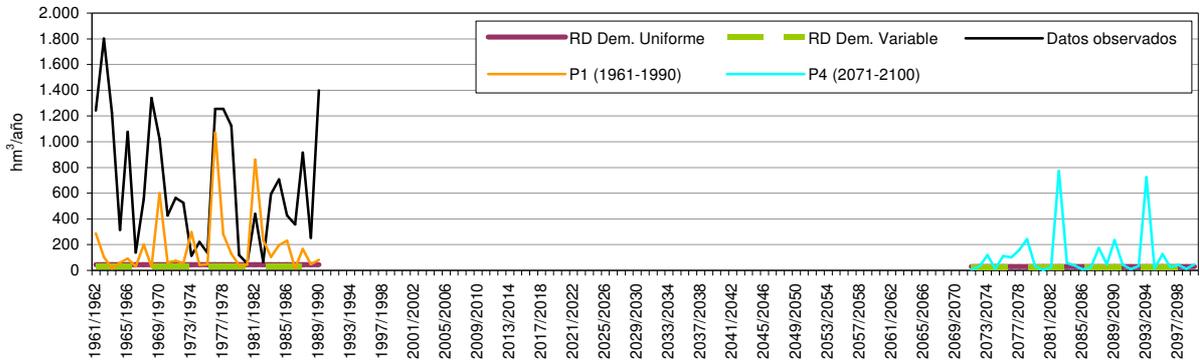


Figura 315. Serie de aportación anual en cada periodo y recurso disponible para la D. H. del Tinto, Odiel y Piedras.HadCM3-PROMES-A2

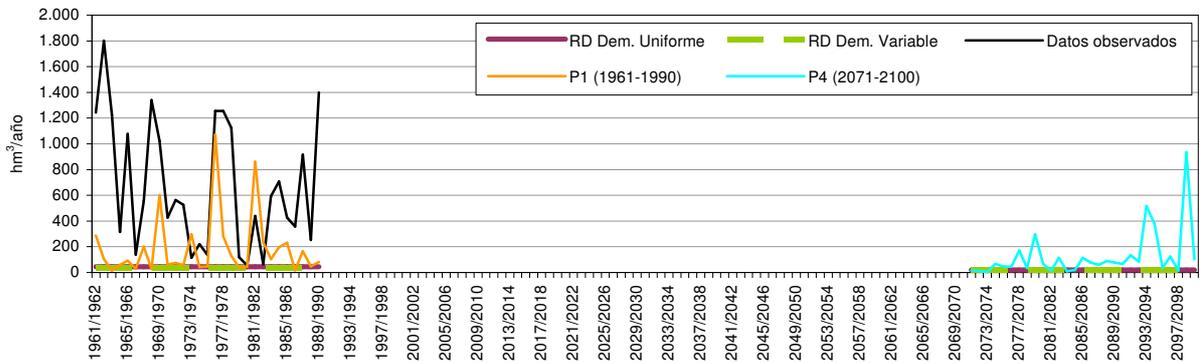


Figura 316. Serie de aportación anual en cada periodo y recurso disponible para la D. H. del Tinto, Odiel y Piedras. HadCM3-PROMES-B2

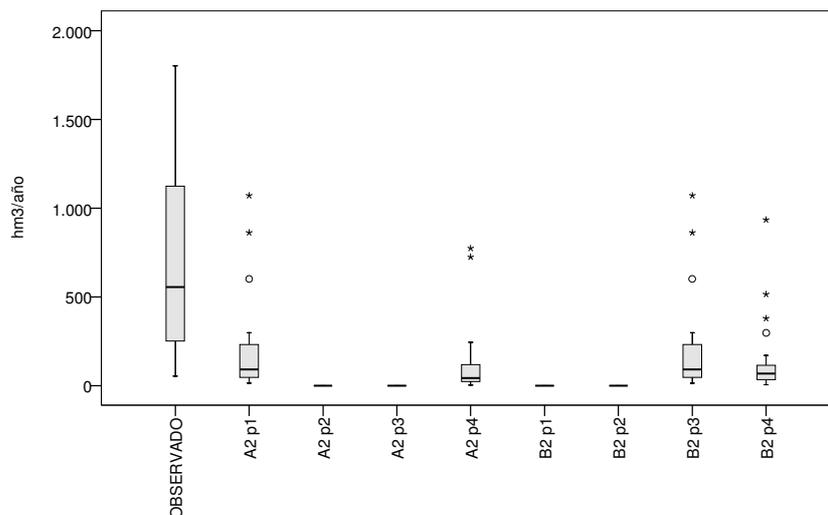


Figura 317. Diagrama de cajas de las series de aportación anual. D. H. del Tinto, Odiel y Piedras. HadCM3-PROMES (A2 y B2)

13. DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA GUADALETE-BARBATE

13.1. Proyección CGCM2-FIC

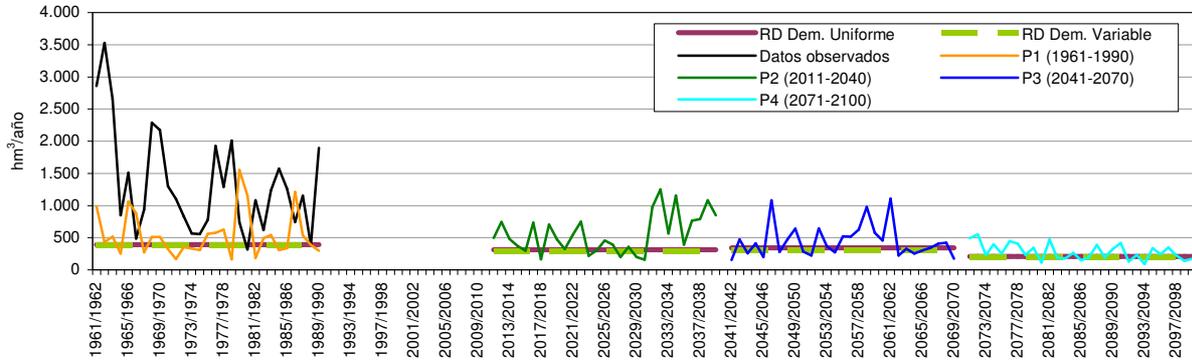


Figura 318. Serie de aportación anual en cada periodo y recurso disponible para la D. H. Guadalete-Barbate. CGCM2-FIC-A2

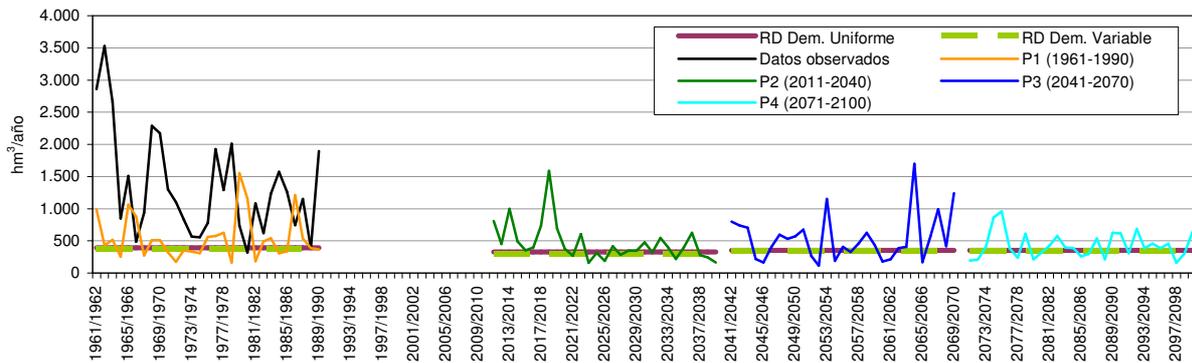


Figura 319. Serie de aportación anual en cada periodo y recurso disponible para la D. H. Guadalete-Barbate. CGCM2-FIC-B2

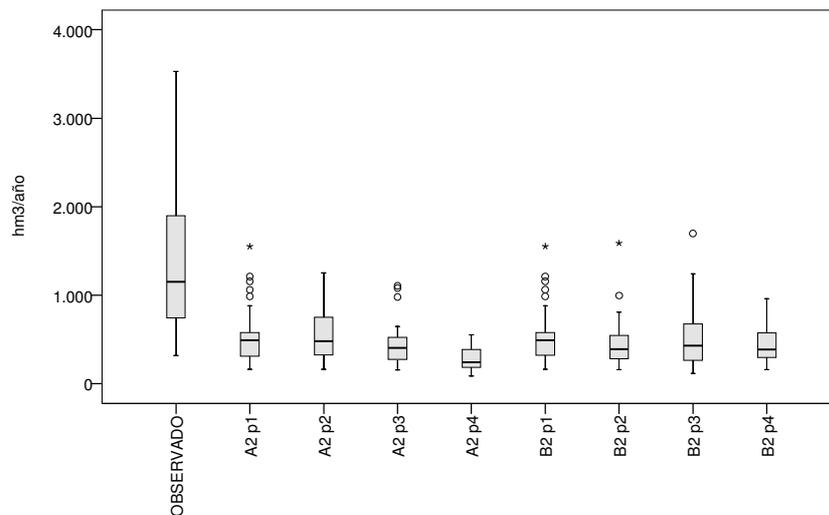


Figura 320. Diagrama de cajas de las series de aportación anual. D. H. Guadalete-Barbate. CGCM2-FIC (A2 y B2)

13.2. Proyección ECHAM4-FIC

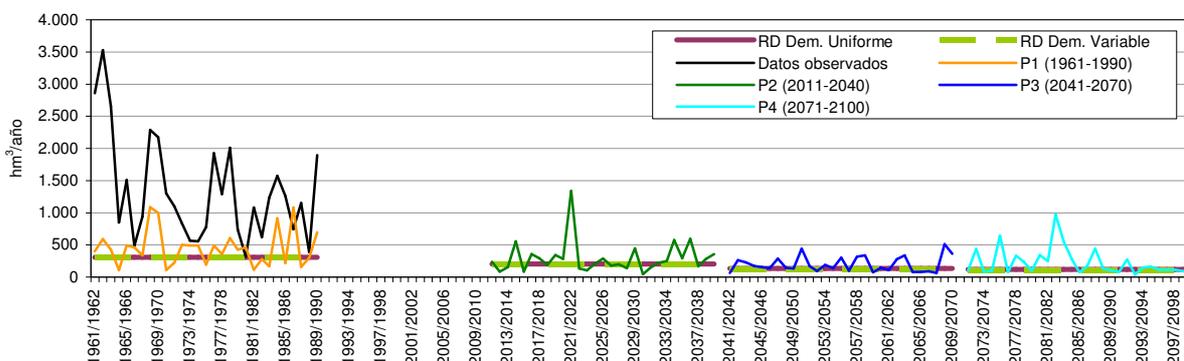


Figura 321. Serie de aportación anual en cada periodo y recurso disponible para la D. H. Guadalete-Barbate. ECHAM4-FIC-A2

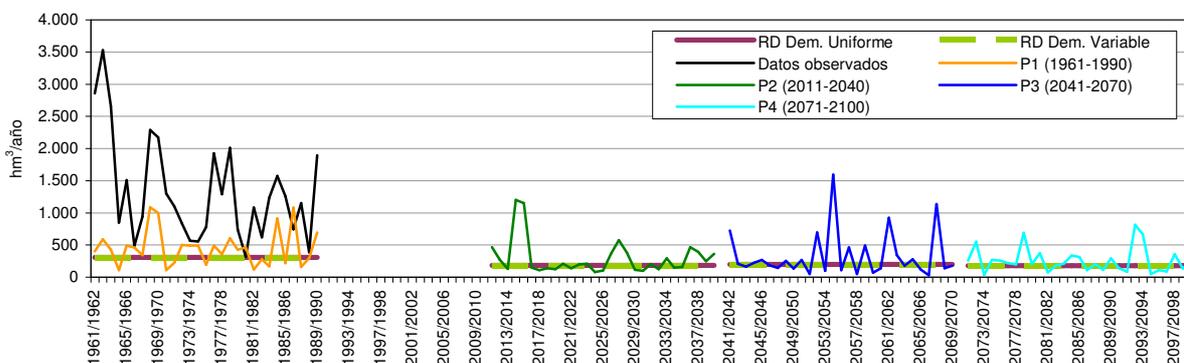


Figura 322. Serie de aportación anual en cada periodo y recurso disponible para la D. H. Guadalete-Barbate. ECHAM4-FIC-B2

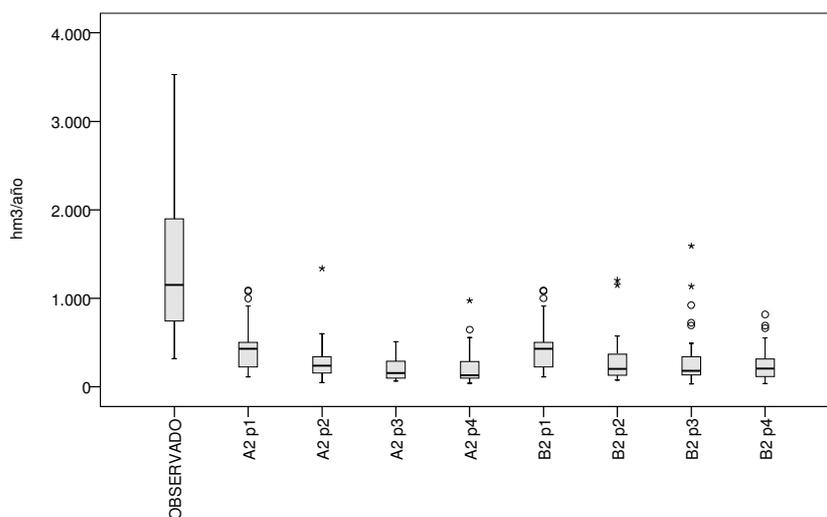


Figura 323. Diagrama de cajas de las series de aportación anual. D. H. Guadalete-Barbate. ECHAM4-FIC (A2 y B2)

13.3. Proyección HadCM3-SDSM

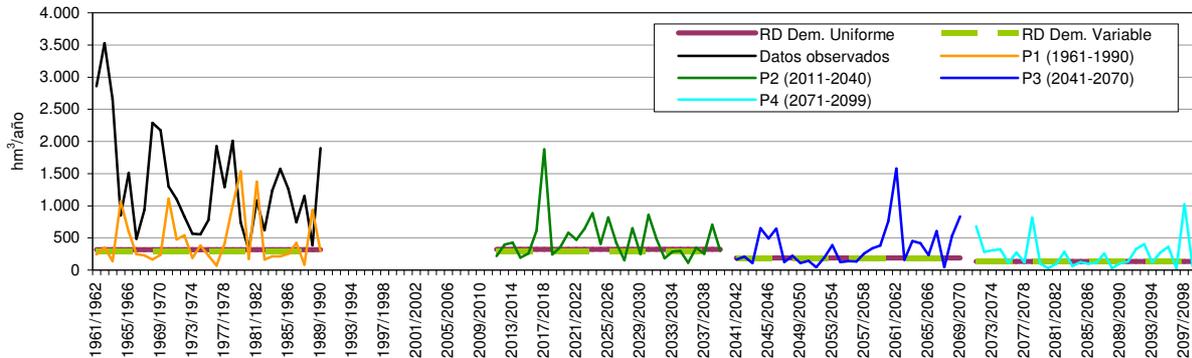


Figura 324. Serie de aportación anual en cada periodo y recurso disponible para la D. H. Guadalete-Barbate. HadCM3-SDSM-A2

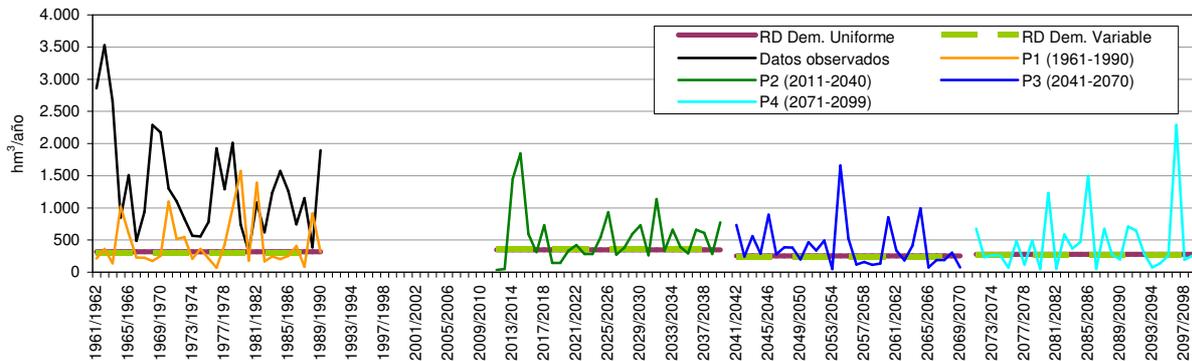


Figura 325. Serie de aportación anual en cada periodo y recurso disponible para la D. H. Guadalete-Barbate. HadCM3-SDSM-B2

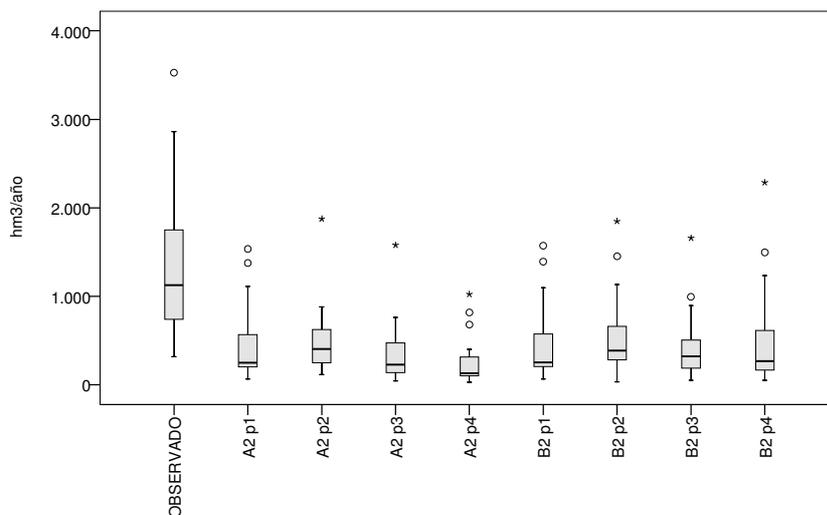


Figura 326. Diagrama de cajas de las series de aportación anual. D. H. Guadalete-Barbate. HadCM3-SDSM (A2 y B2)

13.4. Proyección ECHAM4-RCAO

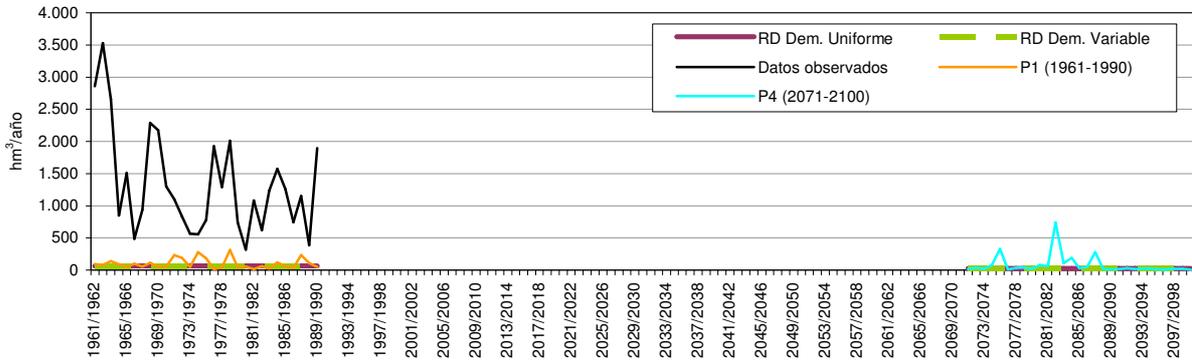


Figura 327. Serie de aportación anual en cada periodo y recurso disponible para la D. H. Guadalete-Barbate. ECHAM4-RCAO-A2

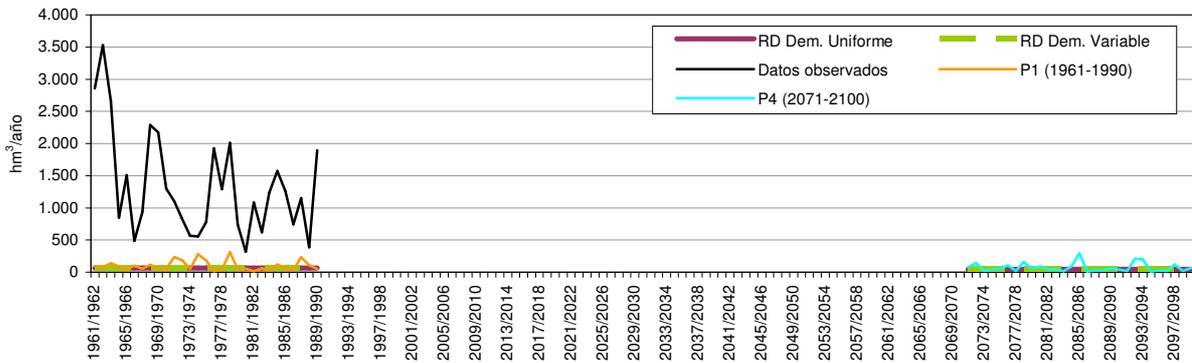


Figura 328. Serie de aportación anual en cada periodo y recurso disponible para la D. H. Guadalete-Barbate. ECHAM4-RCAO-B2

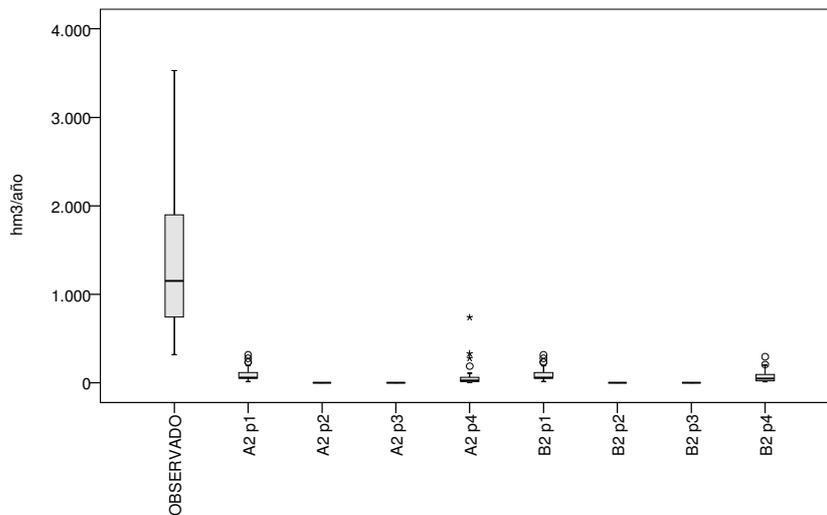


Figura 329. Diagrama de cajas de las series de aportación anual. D. H. Guadalete-Barbate. ECHAM4-RCAO (A2 y B2)

13.5. Proyección HadAM3-FIC

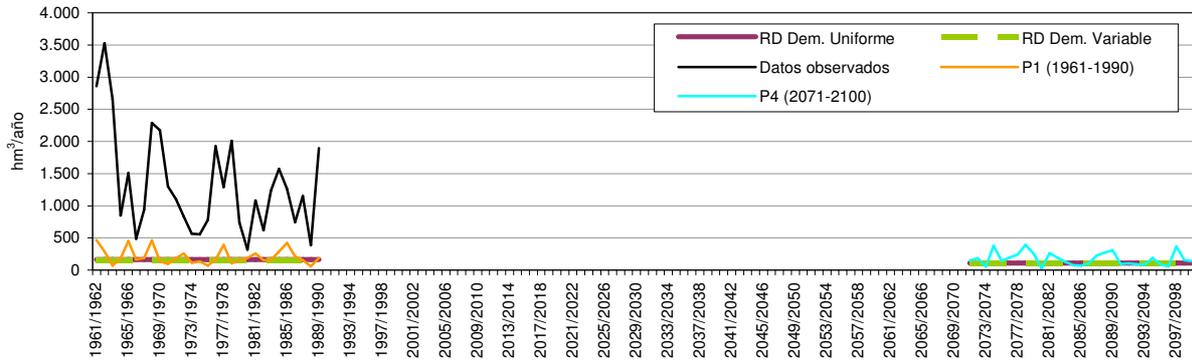


Figura 330. Serie de aportación anual en cada periodo y recurso disponible para la D. H. Guadalete-Barbate. HadAM3-FIC-A2

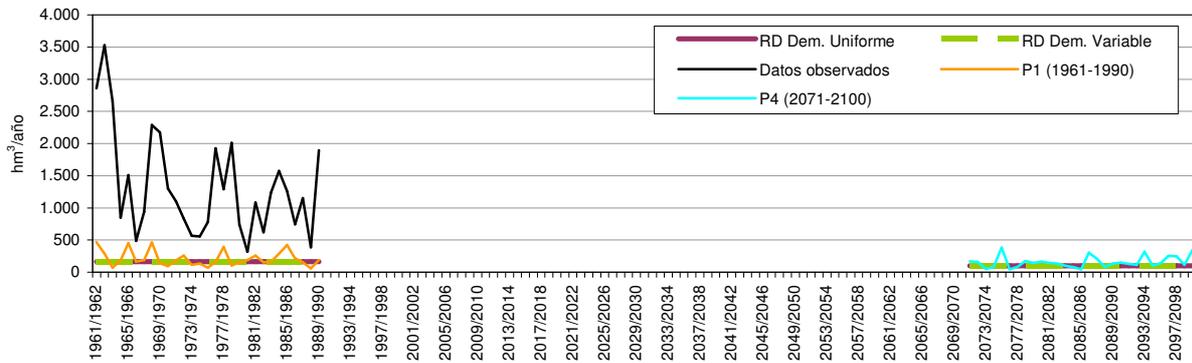


Figura 331. Serie de aportación anual en cada periodo y recurso disponible para la D. H. Guadalete-Barbate. HadAM3-FIC-B2

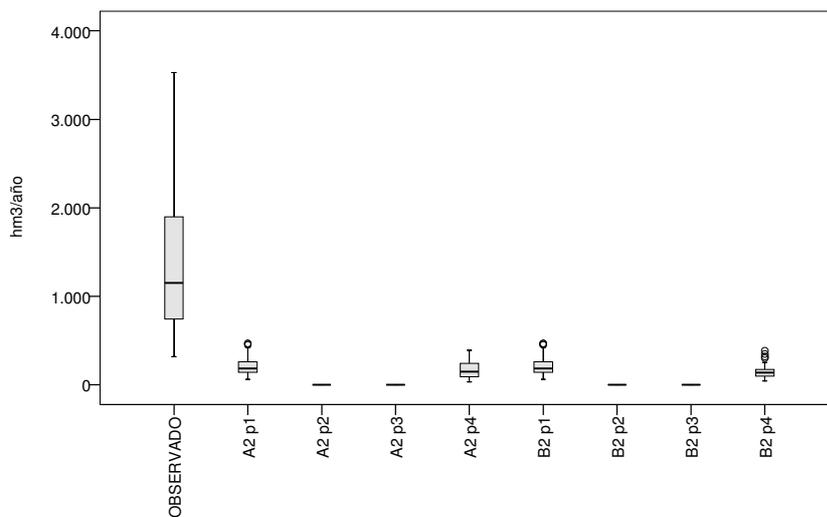


Figura 332. Diagrama de cajas de las series de aportación anual. D. H. Guadalete-Barbate. HadAM3-FIC (A2 y B2)

13.6. Proyección HadCM3-PROMES

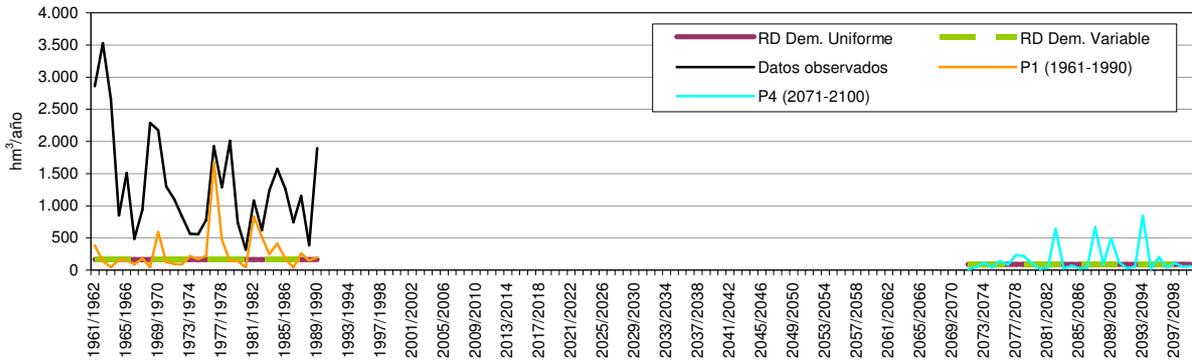


Figura 333. Serie de aportación anual en cada periodo y recurso disponible para la D. H. Guadalete-Barbate. HadCM3-PROMES-A2

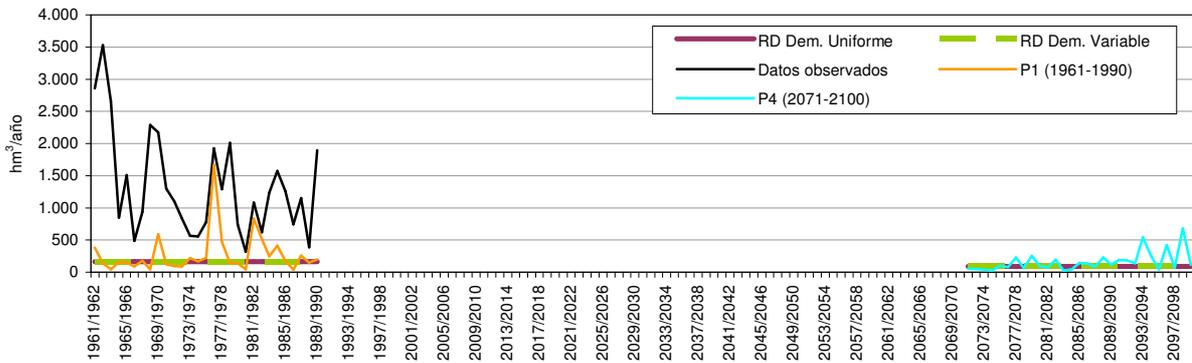


Figura 334. Serie de aportación anual en cada periodo y recurso disponible para la D. H. Guadalete-Barbate. HadCM3-PROMES-B2

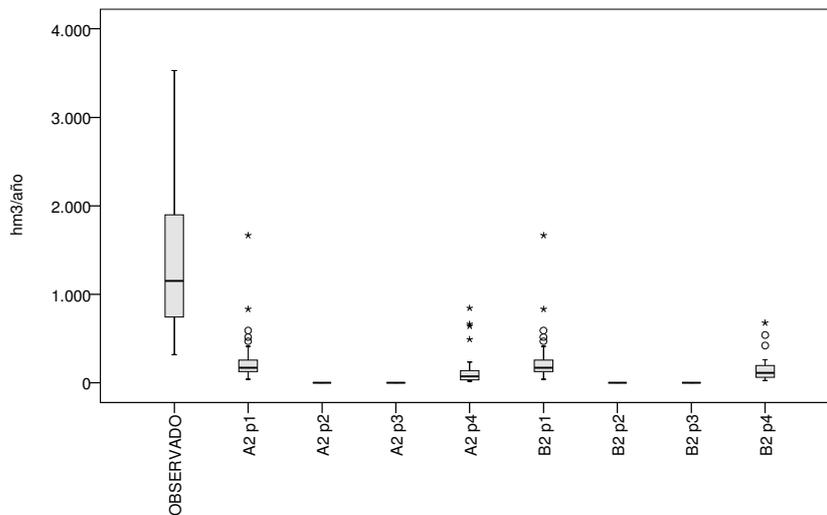


Figura 335. Diagrama de cajas de las series de aportación anual. D. H. Guadalete-Barbate. HadCM3-PROMES (A2 y B2)

14. DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DE LAS CUENCAS MEDITERRÁNEAS ANDALUZAS

14.1. Proyección CGCM2-FIC

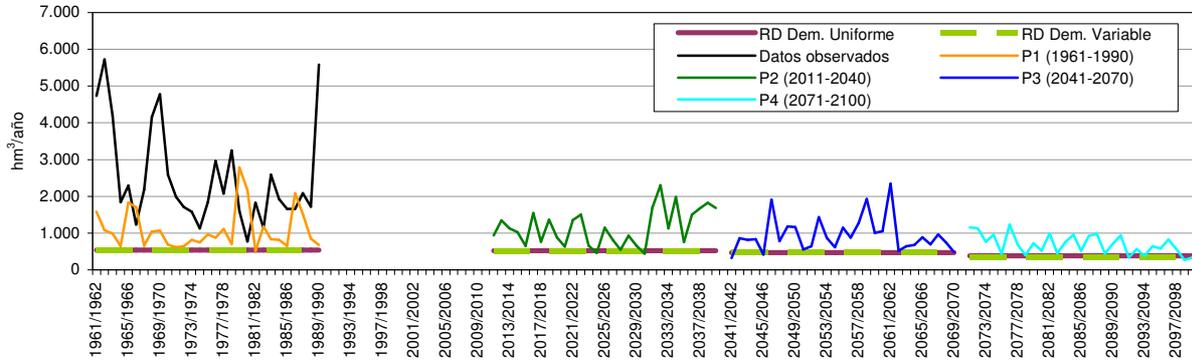


Figura 336. Serie de aportación anual en cada periodo y recurso disponible para la D. H. de las Cuencas Mediterráneas Andaluzas. CGCM2-FIC-A2

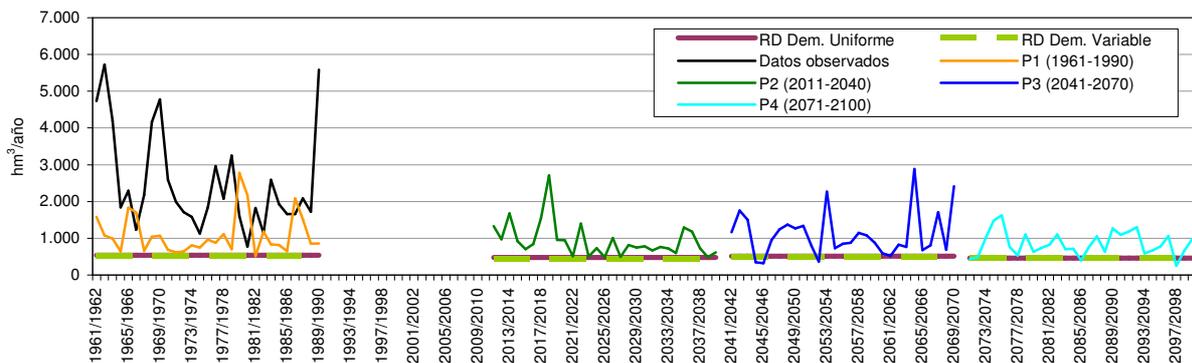


Figura 337. Serie de aportación anual en cada periodo y recurso disponible para la D. H. de las Cuencas Mediterráneas Andaluzas. CGCM2-FIC-B2

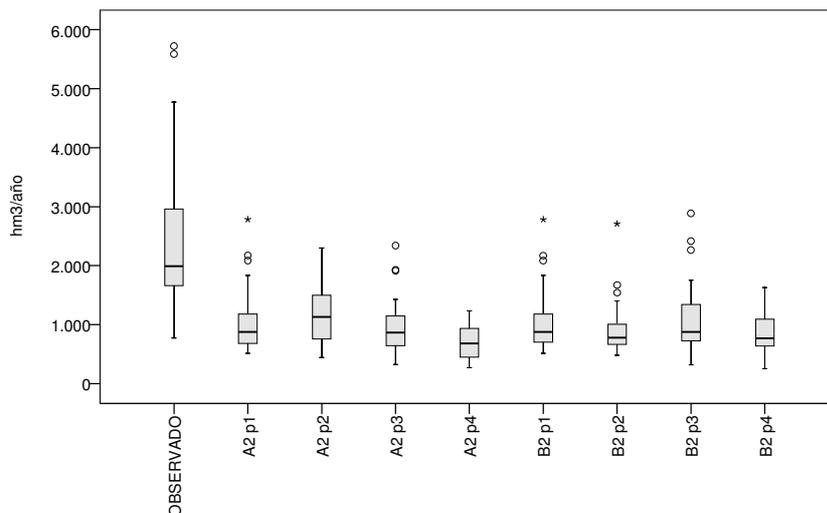


Figura 338. Diagrama de cajas de las series de aportación anual. D. H. de las Cuencas Mediterráneas Andaluzas. CGCM2-FIC (A2 y B2)

14.2. Proyección ECHAM4-FIC

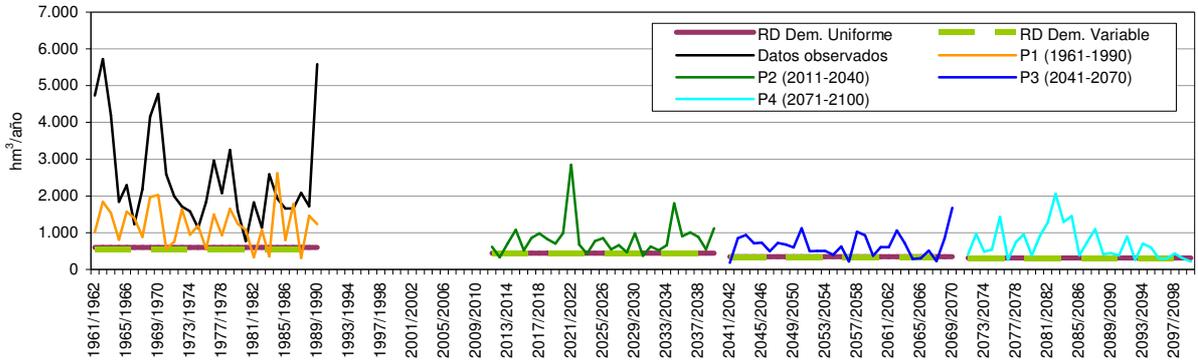


Figura 339. Serie de aportación anual en cada periodo y recurso disponible para la D. H. de las Cuencas Mediterráneas Andaluzas. ECHAM4-FIC-A2

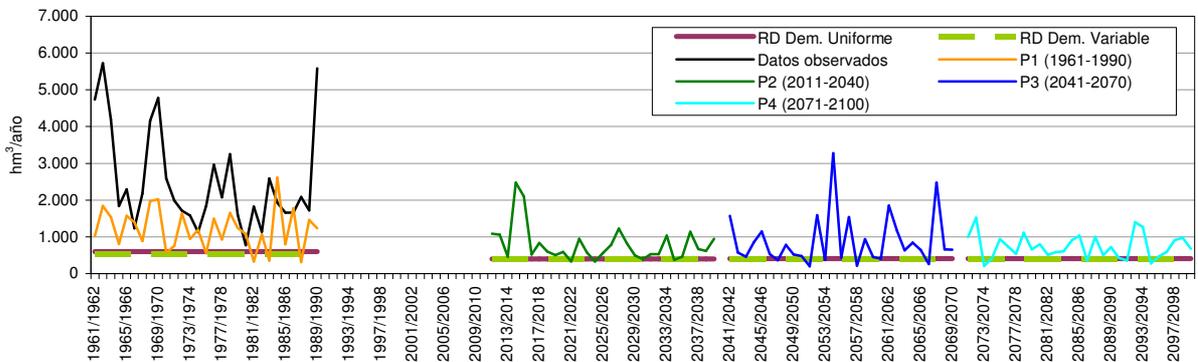


Figura 340. Serie de aportación anual en cada periodo y recurso disponible para la D. H. de las Cuencas Mediterráneas Andaluzas. ECHAM4-FIC-B2

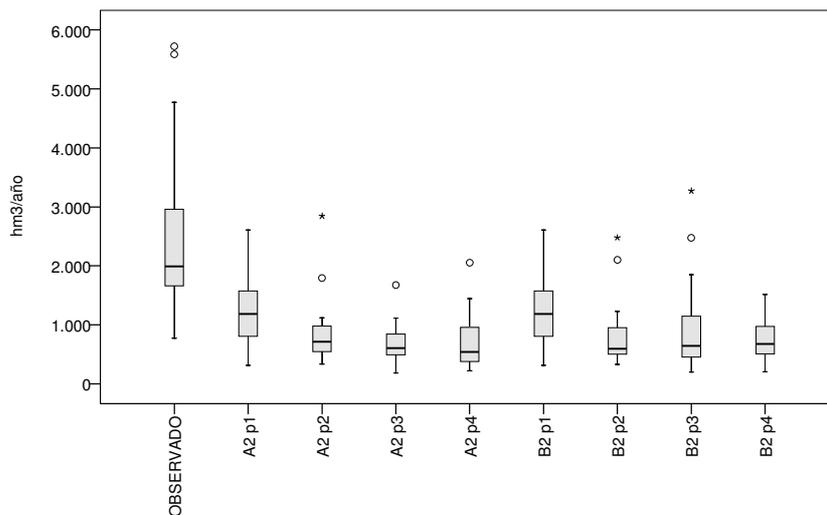


Figura 341. Diagrama de cajas de las series de aportación anual. D. H. de las Cuencas Mediterráneas Andaluzas. ECHAM4-FIC (A2 y B2)



14.3. Proyección HadCM3-SDSM

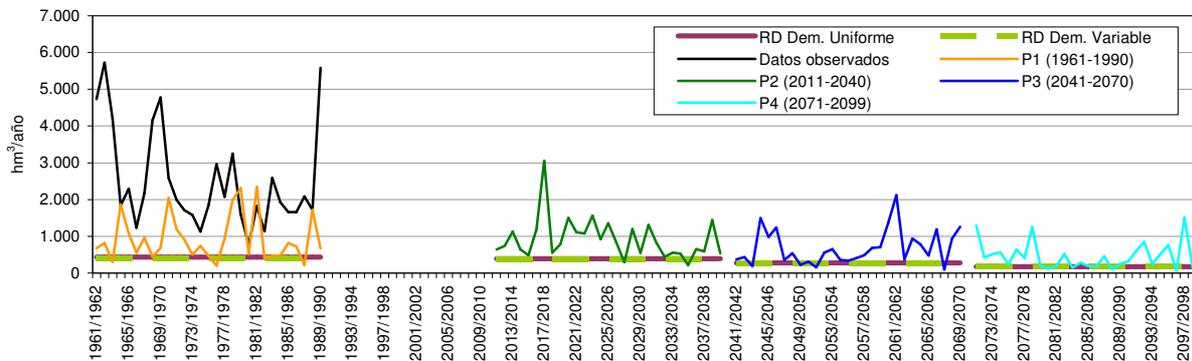


Figura 342. Serie de aportación anual en cada periodo y recurso disponible para la D. H. de las Cuencas Mediterráneas Andaluzas. HadCM3-SDSM-A2

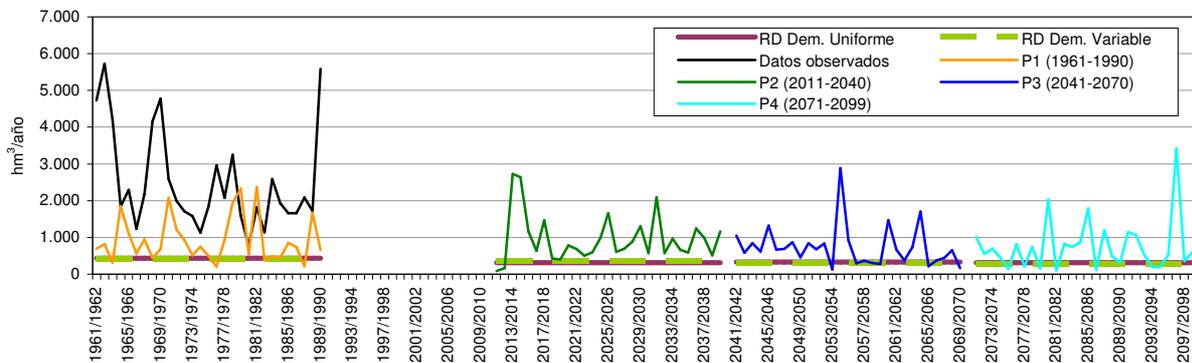


Figura 343. Serie de aportación anual en cada periodo y recurso disponible para la D. H. de las Cuencas Mediterráneas Andaluzas. HadCM3-SDSM-B2

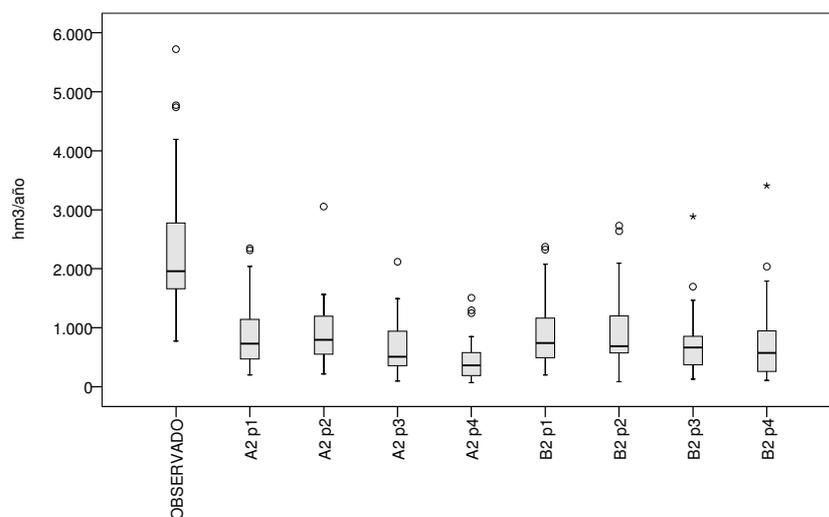


Figura 344. Diagrama de cajas de las series de aportación anual. D. H. de las Cuencas Mediterráneas Andaluzas. HadCM3-SDSM (A2 y B2)

14.4. Proyección ECHAM4-RCAO

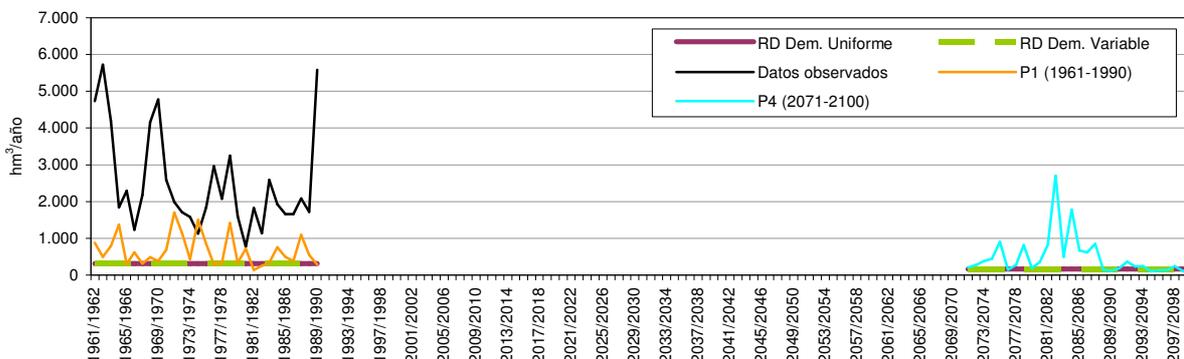


Figura 345. Serie de aportación anual en cada periodo y recurso disponible para la D. H. de las Cuencas Mediterráneas Andaluzas. ECHAM4-RCAO-A2

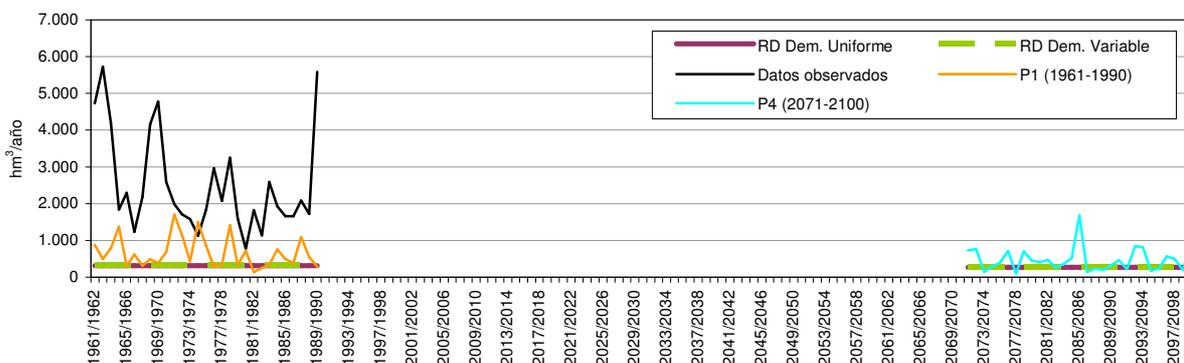


Figura 346. Serie de aportación anual en cada periodo y recurso disponible para la D. H. de las Cuencas Mediterráneas Andaluzas. ECHAM4-RCAO-B2

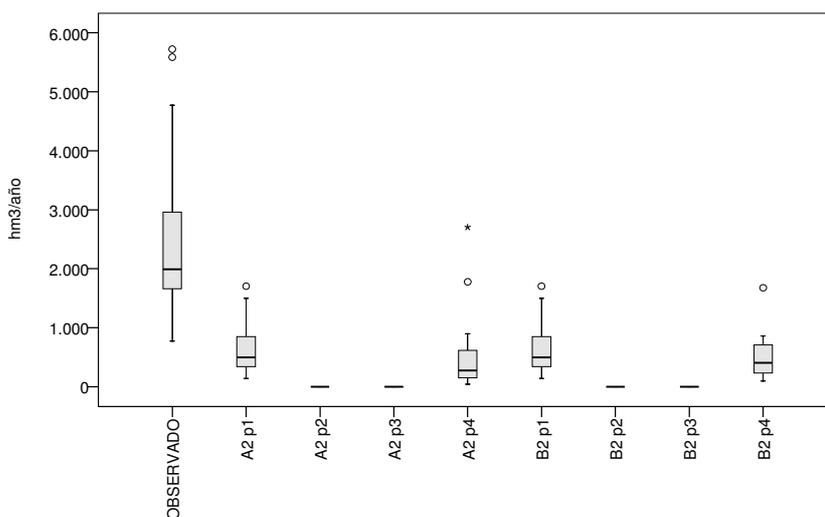


Figura 347. Diagrama de cajas de las series de aportación anual. D. H. de las Cuencas Mediterráneas Andaluzas. ECHAM4-RCAO (A2 y B2)



14.5. Proyección HadAM3-FIC

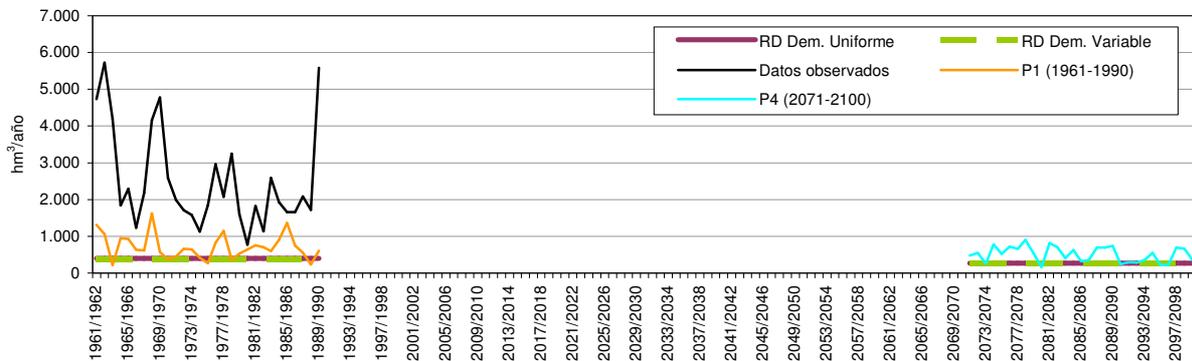


Figura 348. Serie de aportación anual en cada periodo y recurso disponible para la D. H. de las Cuencas Mediterráneas Andaluzas. HadAM3-FIC-A2

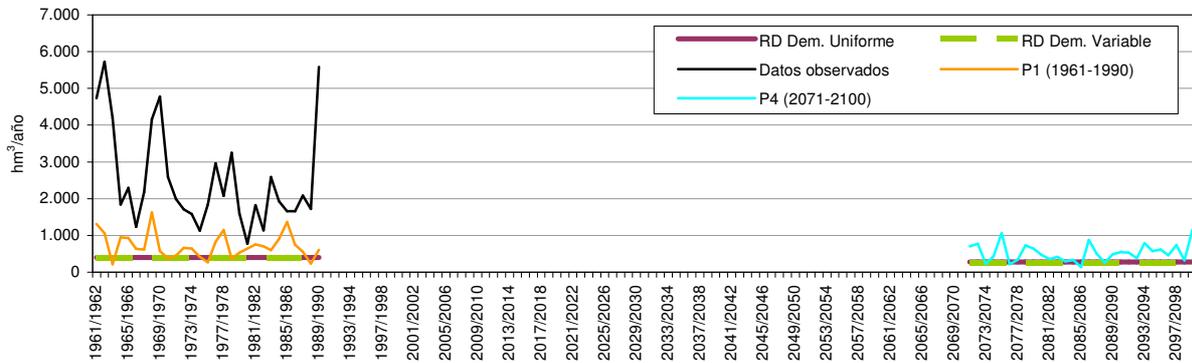


Figura 349. Serie de aportación anual en cada periodo y recurso disponible para la D. H. de las Cuencas Mediterráneas Andaluzas. HadAM3-FIC-B2

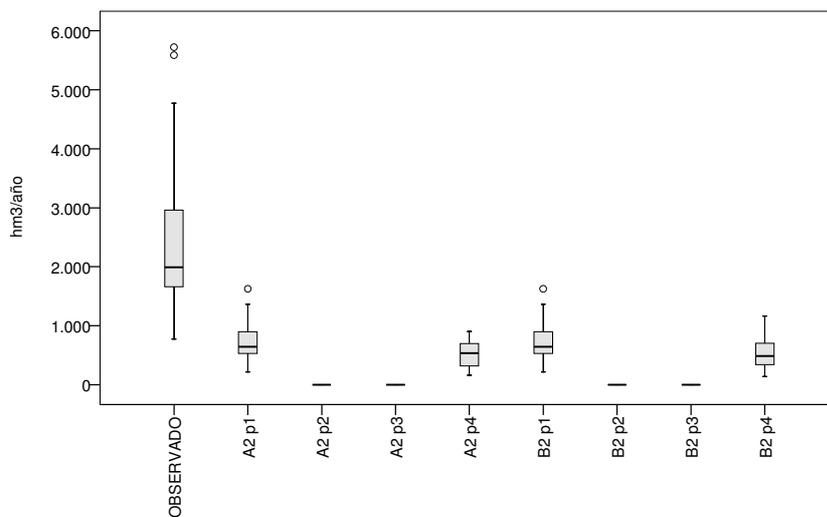


Figura 350. Diagrama de cajas de las series de aportación anual. D. H. de las Cuencas Mediterráneas Andaluzas. HadAM3-FIC (A2 y B2)

14.6. Proyección HadCM3-PROMES

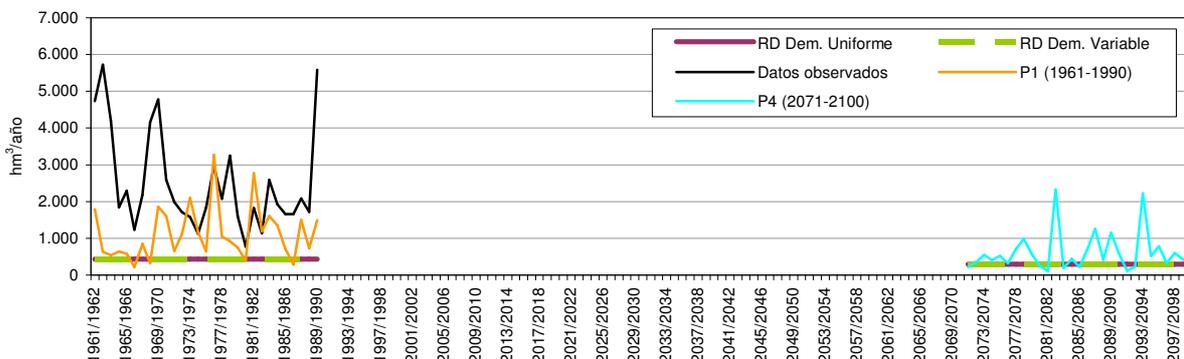


Figura 351. Serie de aportación anual en cada periodo y recurso disponible para la D. H. de las Cuencas Mediterráneas Andaluzas. HadCM3-PROMES-A2

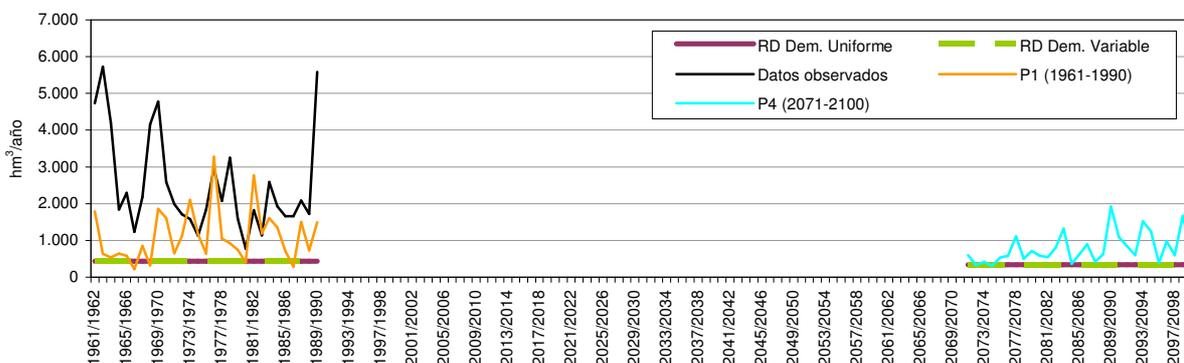


Figura 352. Serie de aportación anual en cada periodo y recurso disponible para la D. H. de las Cuencas Mediterráneas Andaluzas. HadCM3-PROMES-B2

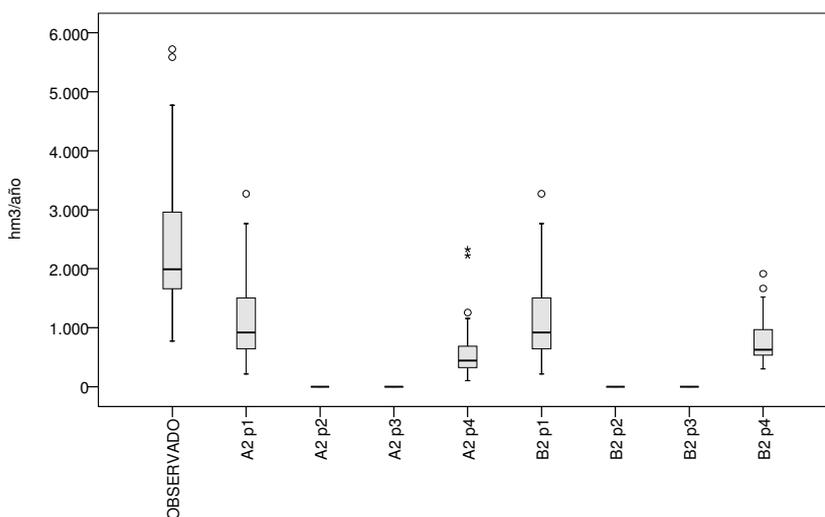


Figura 353. Diagrama de cajas de las series de aportación anual. D. H. de las Cuencas Mediterráneas Andaluzas. HadCM3-PROMES (A2 y B2)



15. DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DE LAS CUENCAS INTERNAS DE CATALUÑA

15.1. Proyección CGCM2-FIC

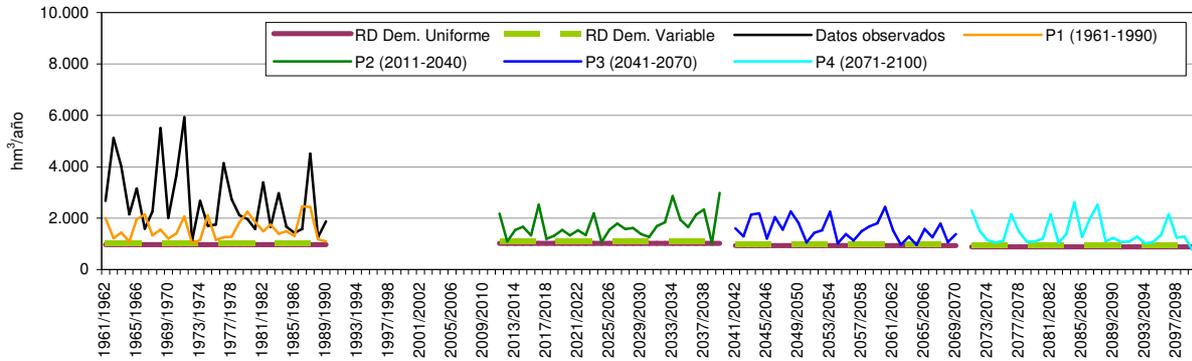


Figura 354. Serie de aportación anual en cada periodo y recurso disponible para la D. H. de las Cuencas Internas de Cataluña. CGCM2-FIC-A2

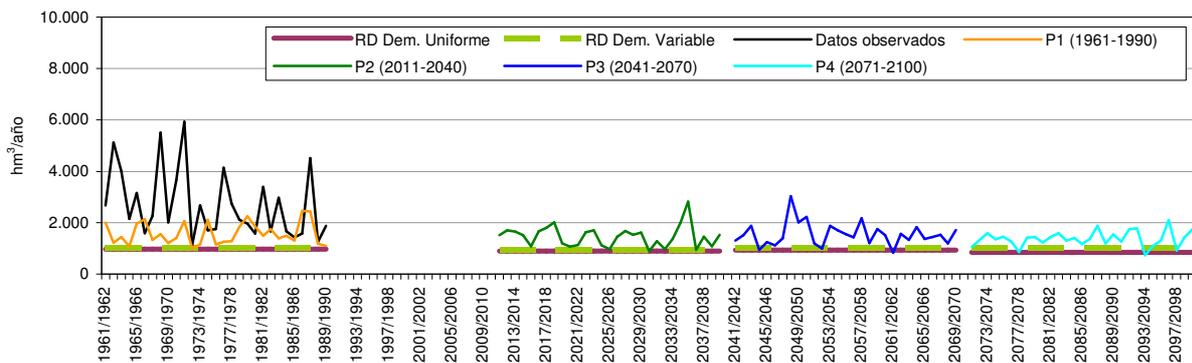


Figura 355. Serie de aportación anual en cada periodo y recurso disponible para la D. H. de las Cuencas Internas de Cataluña. CGCM2-FIC-B2

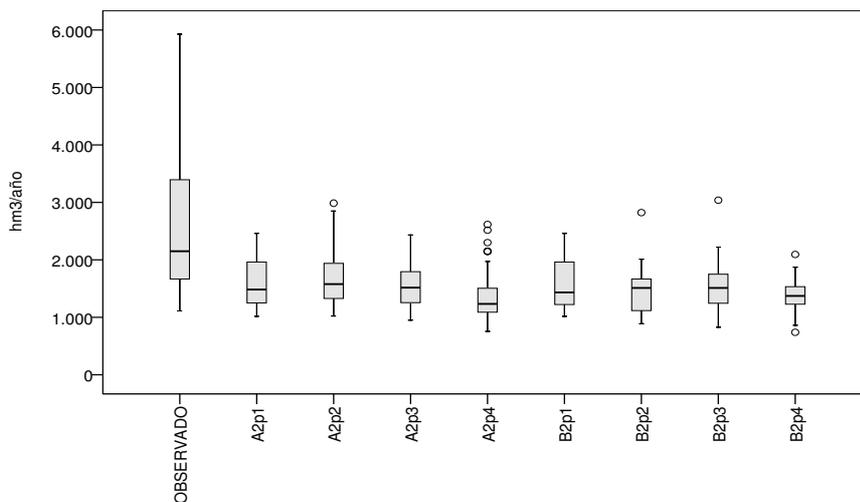


Figura 356. Diagrama de cajas de las series de aportación anual. D. H. de las Cuencas Internas de Cataluña. CGCM2-FIC (A2 y B2)

15.2. Proyección ECHAM4-FIC

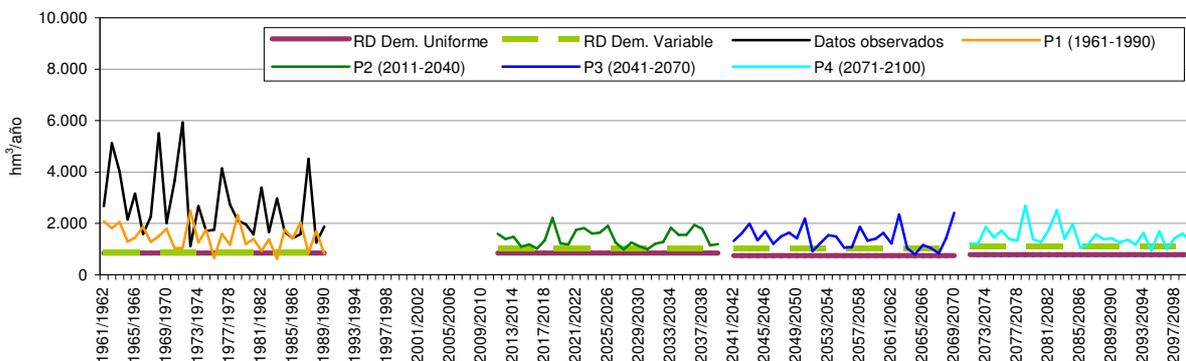


Figura 357. Serie de aportación anual en cada periodo y recurso disponible para la D. H. de las Cuencas Internas de Cataluña. ECHAM4-FIC-A2

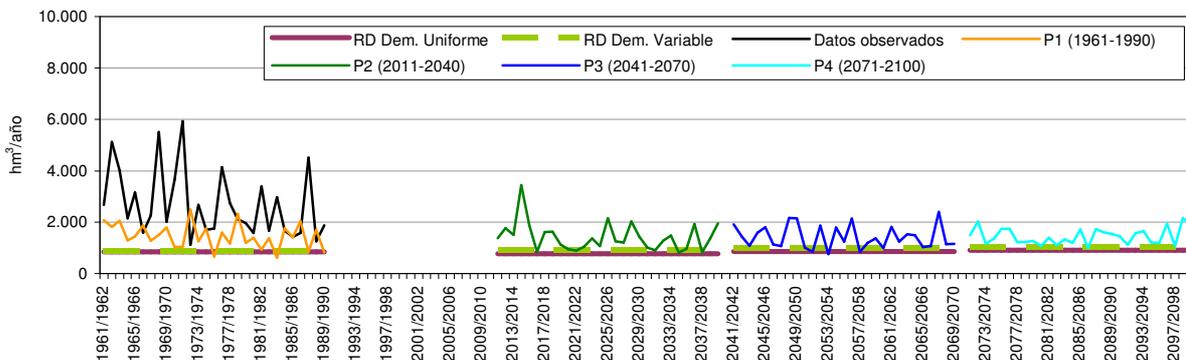


Figura 358. Serie de aportación anual en cada periodo y recurso disponible para la D. H. de las Cuencas Internas de Cataluña. ECHAM4-FIC-B2

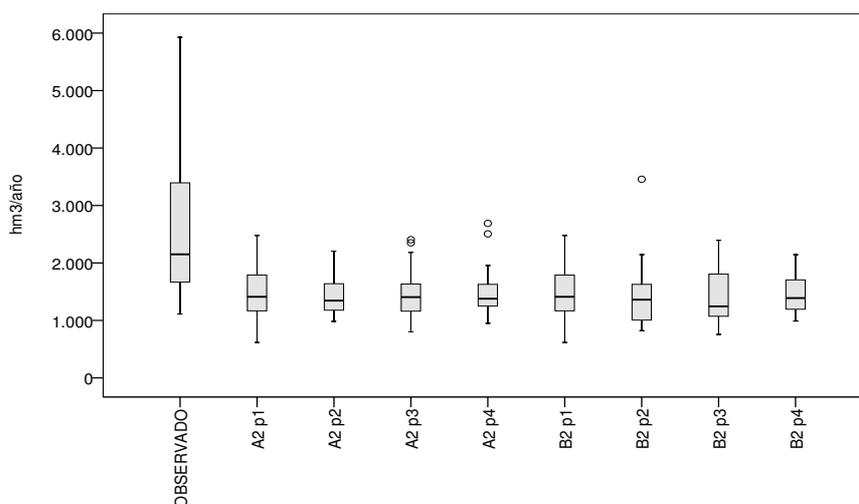


Figura 359. Diagrama de cajas de las series de aportación anual. D. H. de las Cuencas Internas de Cataluña ECHAM4-FIC (A2 y B2)



15.3. Proyección HadCM3-SDSM

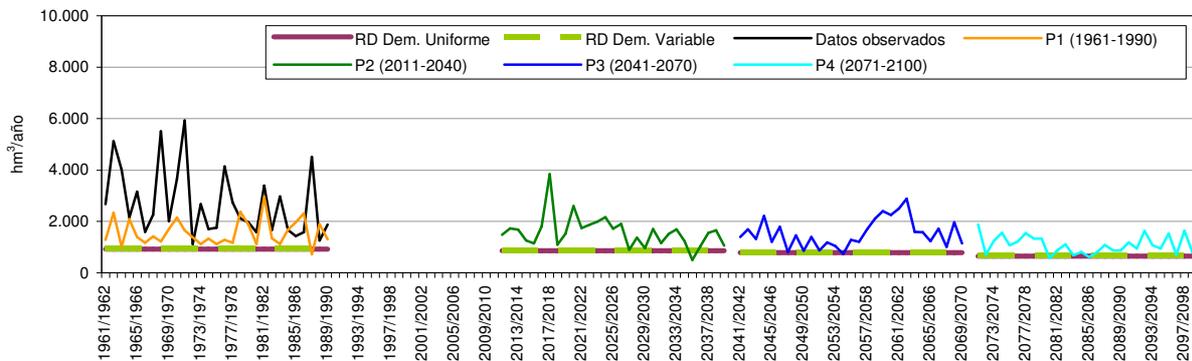


Figura 360. Serie de aportación anual en cada periodo y recurso disponible para la D. H. de las Cuencas Internas de Cataluña. HadCM3-SDSM-A2

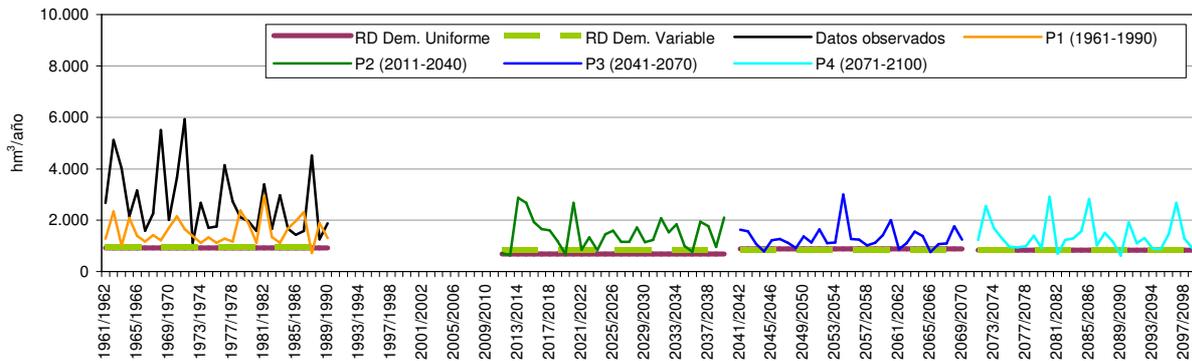


Figura 361. Serie de aportación anual en cada periodo y recurso disponible para la D. H. de las Cuencas Internas de Cataluña. HadCM3-SDSM-B2

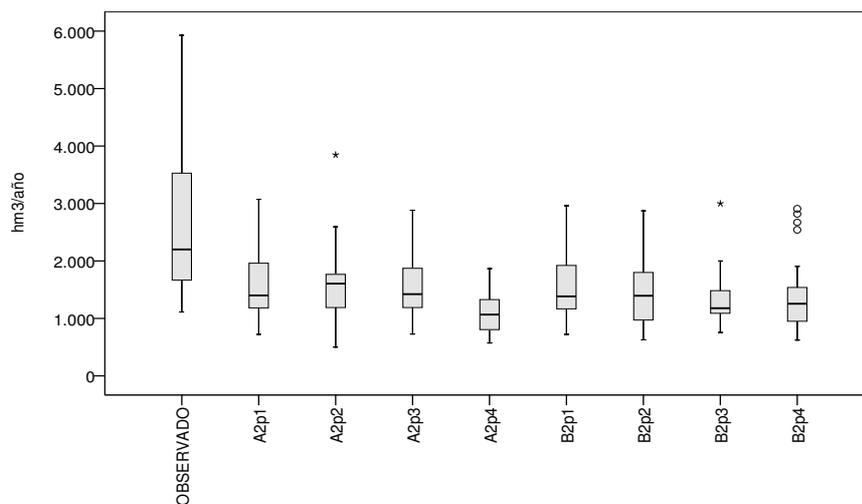


Figura 362. Diagrama de cajas de las series de aportación anual. D. H. de las Cuencas Internas de Cataluña. HadCM3-SDSM (A2 y B2)

15.4. Proyección ECHAM4-RCAO

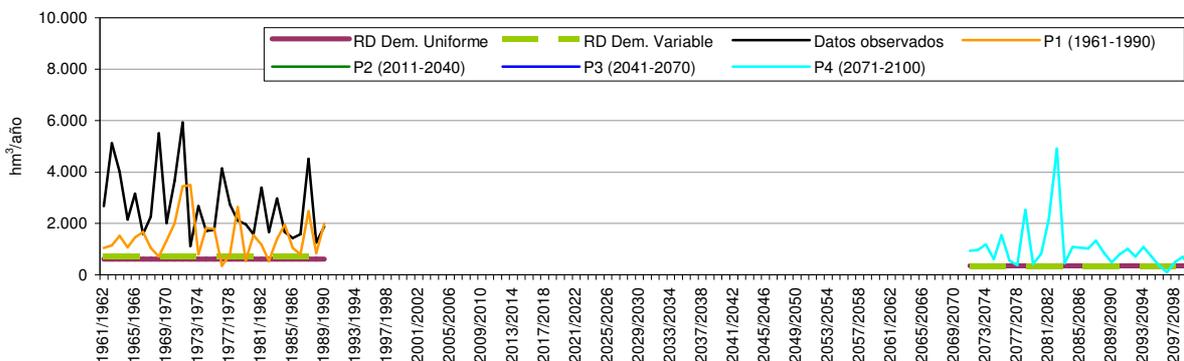


Figura 363. Serie de aportación anual en cada periodo y recurso disponible para la D. H. de las Cuencas Internas de Cataluña. ECHAM4-RCAO-A2

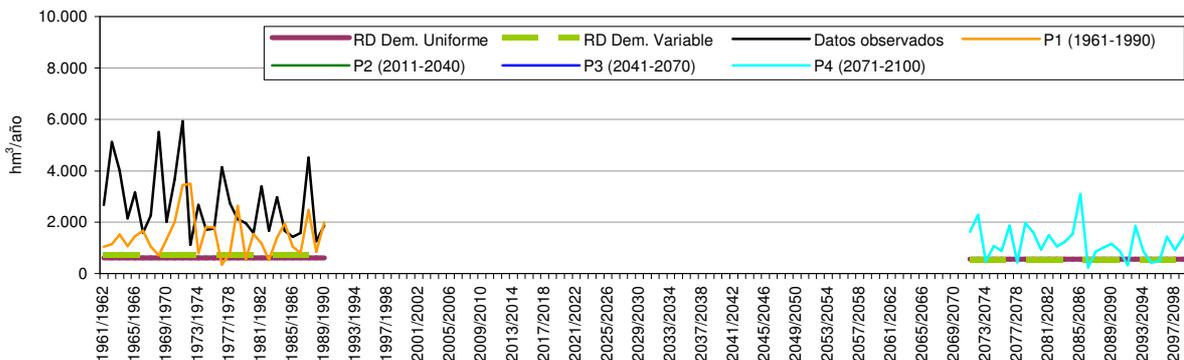


Figura 364. Serie de aportación anual en cada periodo y recurso disponible para la D. H. de las Cuencas Internas de Cataluña. ECHAM4-RCAO-B2

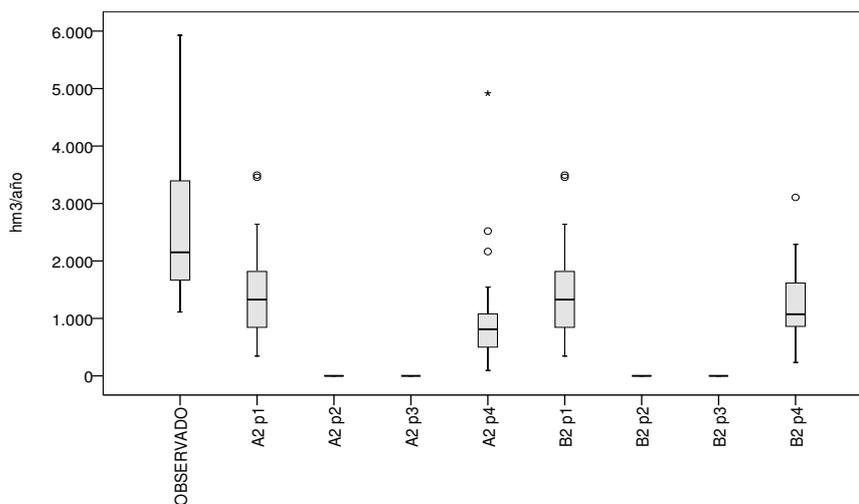


Figura 365. Diagrama de cajas de las series de aportación anual. D. H. de las Cuencas Internas de Cataluña ECHAM4-RCAO (A2 y B2)



15.5. Proyección HadAM3-FIC

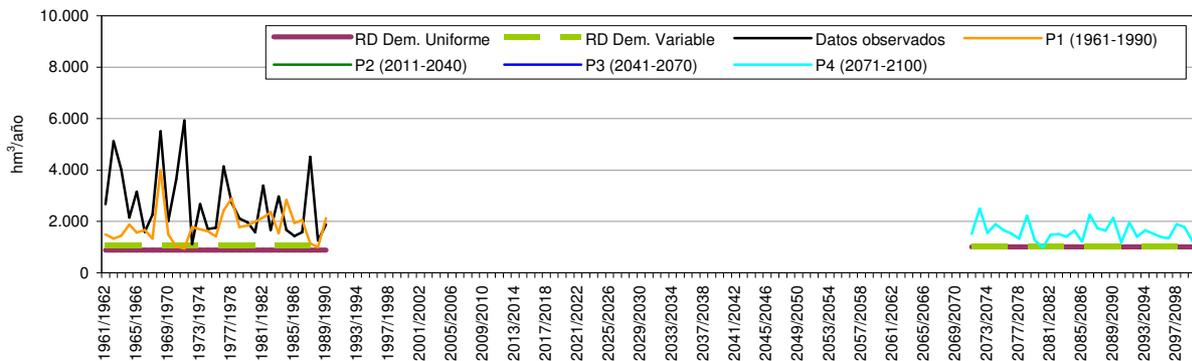


Figura 366. Serie de aportación anual en cada periodo y recurso disponible para la D. H. de las Cuencas Internas de Cataluña. HadAM3-FIC-A2

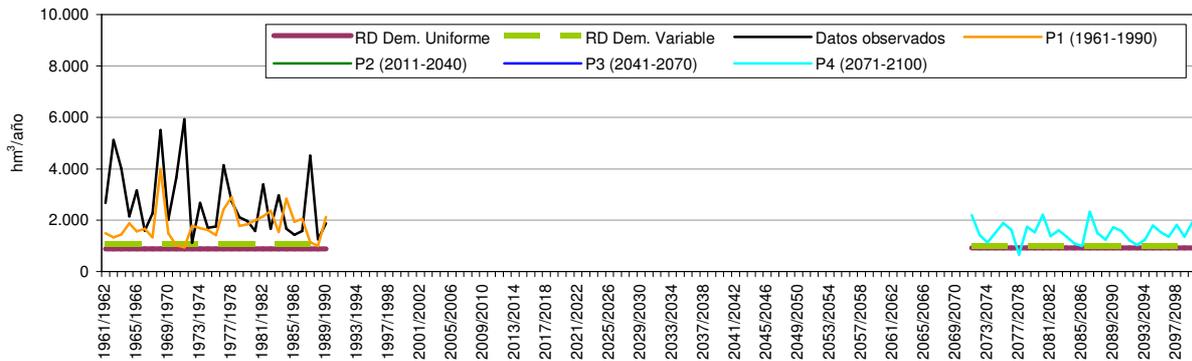


Figura 367. Serie de aportación anual en cada periodo y recurso disponible para la D. H. de las Cuencas Internas de Cataluña. HadAM3-FIC-B2

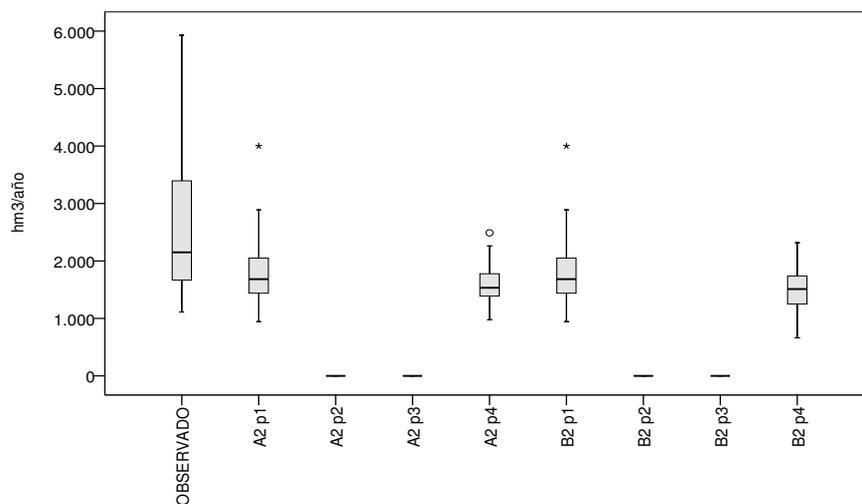


Figura 368. Diagrama de cajas de las series de aportación anual. D. H. de las Cuencas Internas de Cataluña. HadAM3-FIC (A2 y B2)

15.6. Proyección HadCM3-PROMES

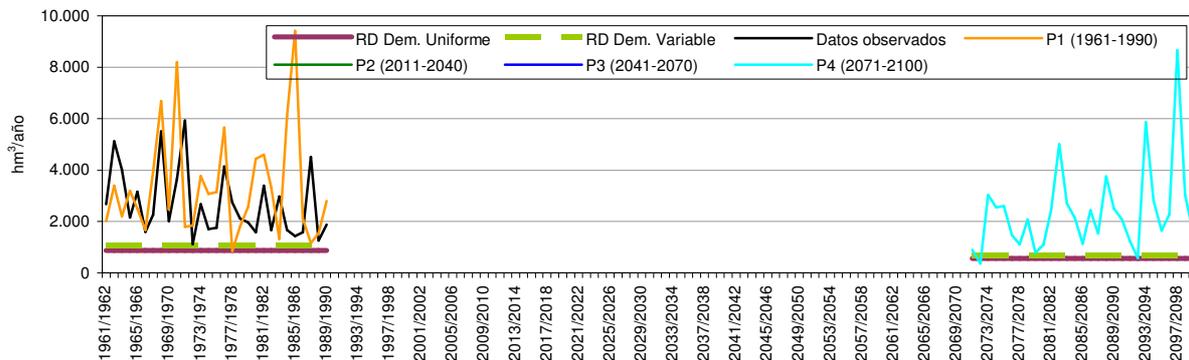


Figura 369. Serie de aportación anual en cada periodo y recurso disponible para la D. H. de las Cuencas Internas de Cataluña. HadCM3-PROMES-A2

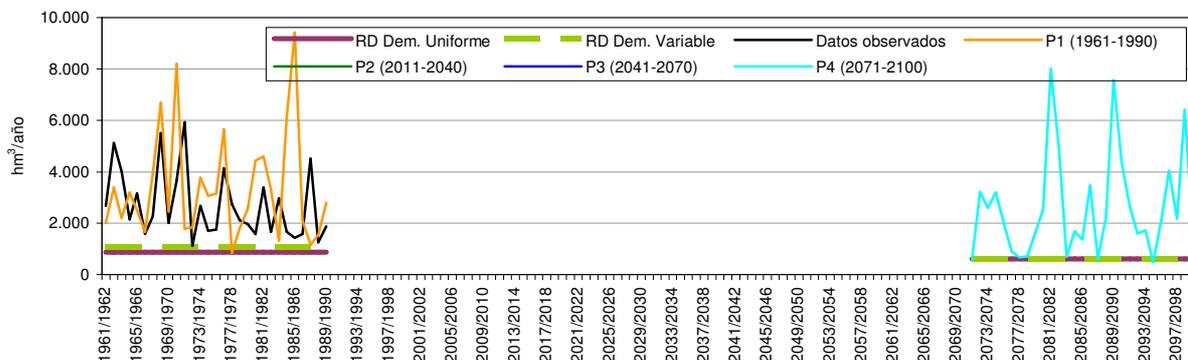


Figura 370. Serie de aportación anual en cada periodo y recurso disponible para la D. H. de las Cuencas Internas de Cataluña. HadCM3-PROMES-B2

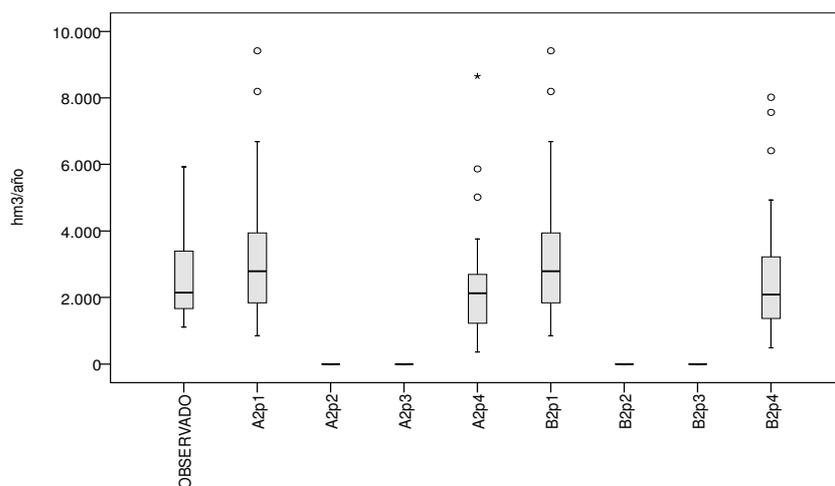


Figura 371. Diagrama de cajas de las series de aportación anual. D. H. de las Cuencas Internas de Cataluña. HadCM3-PROMES (A2 y B2)