

Trabajo Fin de Máster

ANÁLISIS DE LA GESTIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS EN LA CUENCA DEL RÍO EBRO

Intensificación:

ANÁLISIS DE SISTEMAS DE RECURSOS HÍDRICOS

Autor:

HÉCTOR SÁNCHEZ RUESGA

Tutor:

DR. JAVIER PAREDES ARQUIOLA

Cotutor/es:

NÉSTOR ELVIRA LERMA

JULIO, 2018



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

máster en ingeniería
hidráulica y medio ambiente
mihma



Resumen del Trabajo de Fin de Máster

Datos del proyecto

Título del TFM en español: ANÁLISIS DE LA GESTIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS EN LA CUENCA DEL RÍO EBRO

Título del TFM en inglés: ANALYSIS OF WATER RESOURCES MANAGEMENT IN THE EBRO RIVER BASIN

Título del TFM en Valenciano: ANÀLISI DE LA GESTIÓ DELS RECURSOS HÍDRICS EN LA CONCA DEL RIU EBRE

Alumno: HÉCTOR SÁNCHEZ RUESGA

Tutor: DR. JAVIER PAREDES ARQUIOLA

Cotutor/es:

NÉSTOR LERMA ELVIRA

Director experimental:

Fecha de Lectura: JULIO, 2018

Resumen

En español (máximo 4000 caracteres)

La cuenca del río Ebro ubicada en el cuadrante noreste de la Península Ibérica es la cuenca hidrográfica más extensa de España y una de las principales cuencas mediterráneas europeas. Sin embargo, la gran magnitud de la demanda agraria y la escasa precipitación en ciertas zonas de la cuenca hace que el sistema presente problemas a la hora de garantizar el suministro de los recursos hídricos.

Es por ello que en el presente trabajo se pretende analizar el estado actual del sistema de recursos hídricos de la cuenca del Ebro, así como desarrollar y aplicar unos Índices de Sostenibilidad Hidrológica a los diferentes sectores del sistema y ver la evolución



de estos índices en diferentes escenarios futuros. Para ello se hace uso de las herramientas AQUATOOL+ y SIMGES las cuales proporcionan la gestión y el análisis del modelo del Ebro, y el software MATLAB, mediante el cual se obtienen los resultados de los Índices de Sostenibilidad para las demandas y los caudales ecológicos. Con los resultados obtenidos se hace un análisis de la situación de los diferentes sectores de la cuenca identificando los problemas existentes en cada uno de ellos.

Finalmente se realizan varias simulaciones considerando diferentes escenarios futuros, donde se tienen en cuenta los efectos del cambio climático, los cambios en la demanda y la puesta en funcionamiento de embalses que actualmente se encuentran en fase de construcción.

En valenciano (máximo 4000 caracteres)

La conca del riu Ebre, situada al quadrant nord-est de la Península Ibèrica, és la conca hidrogràfica més extensa d'Espanya i una de les principals conques mediterrànies europees. No obstant, la gran magnitud de la demanada agrària i l'escassa precipitació en certes zones de la conca fan que el sistema presente problemes a l'hora de garantir el subministrament dels recursos hídrics.

Aquest treball tracta d'analitzar l'estat actual dels recursos hídrics de la conca de l'Ebre, desenvolupar i aplicar uns índexs de Sostenibilitat Hidrològica als diferents sistemes d'explotació i veure l'evolució d'aquests índexs en diferents escenaris futurs. Per a això s'utilitza el mòdul SIMGES del software AQUATOOL +, que ens permet modelar, simular i analitzar la gestió de la conca de l'Ebre, i el software MATLAB, amb el que s'obtenen els resultats dels Índexs de Sostenibilitat per a les demanades i els cabals ecològics. Amb els resultats obtinguts es fa una anàlisi de la situació dels diferents sistemes d'explotació de la conca identificant els problemes existents en cada un d'ells.

Finalment, es realitzen diverses simulacions considerant diferents escenaris futurs, on es tenen en compte els efectes del canvi climàtic, les variacions en les demanades



modelades i la posada en funcionament dels embassaments que actualment es troben en fase de construcció.

En inglés (máximo 4000 caracteres)

The basin of the Ebro river located in the northeast quadrant of the Iberian Peninsula is the most extensive basin of Spain and one of the main European Mediterranean basins. However, the great magnitude of the agrarian demand and the low rainfall in certain areas of the basin cause problems in the system when it comes to guaranteeing the supply of water resources.

That is why this work intends to analyze the current situation of the water resources system of the Ebro basin, as well as developing and applying Hydrological Sustainability Indices to the different sectors of the system and see the evolution of these indices in different future scenarios. This is done using the AQUATOOL and SIMGES tools which provide the management and analysis of the Ebro model, and the MATLAB software, through which the results of the Sustainability Indices for the demands and ecological flows are obtained. Once the results are obtained, an analysis of the situation of the different sectors of the basin is made, identifying the existing problems in each one.

Finally, several simulations are carried out considering different future scenarios, taking into account the effects of climate change, the changes in the demand and the operation of reservoirs which are currently in the construction phase.

Palabras clave español (máximo 4): Índices de Sostenibilidad / Gestión / Planificación / Simulación / AQUATOOL

Palabras clave valenciano (máximo 4): Índexs de Sostenibilitat / Gestió / Planificació / Simulació / AQUATOOL

Palabras clave inglés (máximo 4): Sustainability Indices / Management / Planning / Simulation / AQUATOOL

Índice

1.	Introducción	1
1.1	Contexto.....	1
1.2	Cuenca de Estudio.....	1
1.3	Objetivos del trabajo	2
1.4	Estructura del Documento.....	2
2.	Cuenca del Ebro.....	3
2.1	Datos generales de la cuenca	3
2.1.1	Marco Físico.....	5
2.1.2	Actividad económica	8
2.1.3	Subsistemas	9
2.1.4	Balance hídrico	11
3.	Metodología y herramientas.....	12
3.1	AQUATOOL+/SIMGES	12
3.2	Índices de Sostenibilidad	14
4.	Desarrollo del Modelo.....	20
4.1	Aportaciones.....	20
4.2	Demandas	21
4.2.1	Demanda urbana	21
4.2.2	Demanda agraria	22
4.2.3	Trasvases	22
4.3	Embalses	23
4.4	Conducciones.....	24
4.5	Canales.....	24
4.6	Caudales ecológicos.....	24
4.7	Tomas.....	25

4.8	Retornos.....	25
4.9	Subsistemas	25
5.	Simulación y resultados.....	42
5.1	Incorporación de la gestión	43
6.	Cálculo de Índices de Sostenibilidad	46
6.1	Índices de demanda urbana	46
6.2	Índices de demanda agraria.....	52
6.3	Índices de caudales ecológicos	58
7.	Análisis de sensibilidad del umbral de fallo sobre los índices de la demanda agraria 64	
8.	Simulación de escenarios	68
8.1	Cambios en demanda	68
8.2	Efectos del cambio climático	69
8.3	Funcionamiento de embalses en fase de construcción.....	69
8.4	Resultados de los IS	72
8.4.1	IS de la demanda urbana	72
8.4.2	IS de la demanda agraria	76
8.4.3	IS del caudal ecológico.....	80
9.	Conclusiones.....	83
10.	Futuras líneas de investigación	85
11.	Referencias	86
	ANEXOS	84

Índice Figuras

Figura 1: Ámbito territorial de la Demarcación Hidrográfica del Ebro (Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, 2015).....	3
Figura 2: Parte internacional de la Demarcación Hidrográfica del Ebro (Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, 2015).....	4
Figura 3: Densidad de población (Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, 2015).....	5
Figura 4: Juntas de Explotación de la DHE.....	9
Figura 5: Aportaciones, demandas y capacidad de los embalses de la margen derecha e izquierda del río Ebro	11
Figura 6: Modelo del Ebro introducido en AQUATOOL+.....	14
Figura 7: Aportaciones de la DHE	20
Figura 8: Junta de Explotación nº 1: Cabecera y eje del Ebro	26
Figura 9: Aportaciones de cabecera	27
Figura 10: Junta de explotación nº 11: Bajo Ebro	28
Figura 11: Junta de explotación nº 12: Segre	30
Figura 12: Junta de Explotación nº 13: Ésera y Noguera Ribagorzana.....	31
Figura 13: Junta de explotación nº 14: Cuencas del Gállego y Cinca	34
Figura 14: Junta de explotación nº 15: Aragón y Arba	35
Figura 15: Junta de explotación nº 16: Irati, Arga y Ega.....	37
Figura 16: Junta de explotación nº 17: Bayas, Zadorra e Inglares	38
Figura 17: Juntas de explotación de la margen derecha del río Ebro	40
Figura 18: Niveles de volumen de embalses (Andreu Álvarez, Solera Solera, Capilla Romá, & Ferrer Polo, 2015)	43
Figura 19: Índice de Fiabilidad de la DU	50
Figura 20: Índice de Resiliencia de la DU.....	50
Figura 21: Índice de Vulnerabilidad de la DU	51
Figura 22: Índice de Sostenibilidad de la DU	52
Figura 23: Índice de Fiabilidad de la DA	56
Figura 24: Índice de Resiliencia de la DA.....	57

Figura 25: Índice de Vulnerabilidad de la DA	57
Figura 26: Índice de Sostenibilidad de la DA	58
Figura 27: Índice de Fiabilidad del Qeco.....	62
Figura 28: Índice de Resiliencia del Qeco	62
Figura 29: Índice de Vulnerabilidad del Qeco.....	63
Figura 30: Índice de Sostenibilidad del Qeco	64
Figura 31: Ubicación del embalse Biscarrués (Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, 2015).....	70
Figura 32: Ubicación del embalse Mularroya (Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, 2015).....	71

Índice Tablas

Tabla 1: Masas de agua superficial según su naturaleza (Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, 2015)	7
Tabla 2: Masas de agua superficial según su categoría (Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, 2015)	8
Tabla 3: Valor añadido bruto de las diferentes ramas de actividad (Instituto Nacional de Estadística, 2012).....	8
Tabla 4: Empleo de las diferentes ramas de actividad (Instituto Nacional de Estadística, 2012).....	8
Tabla 5: Juntas de Explotación y sus respectivas cuencas vertientes y embalses (Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, 2015) y elaboración propia	10
Tabla 6: Datos globales anuales de la cuenca	11
Tabla 7: Embalses con mayor capacidad de la DHE	24
Tabla 8: Información básica de la Junta nº 1.....	26
Tabla 9: Información básica de la Junta nº 11.....	29
Tabla 10: Información básica de la Junta nº 12.....	30
Tabla 11: Información básica de la Junta nº 13.....	32
Tabla 12: Información básica de la Junta nº 14.....	34
Tabla 13: Información básica de la Junta nº 15.....	36
Tabla 14: Información básica de la Junta nº 16.....	37
Tabla 15: Información básica de la Junta nº 17.....	39
Tabla 16: Embalses de las Juntas de Explotación de la margen derecha del río Ebro ...	41
Tabla 17: Información básica de las Juntas de la margen derecha.....	41
Tabla 18: Fallos mensuales de la demanda urbana.....	43
Tabla 19: Volúmenes mínimo y objetivo establecidos en los embalses	45
Tabla 20: Mejoría de fallos mensuales de la demanda urbana tras la calibración	45

Índice Gráficas

Gráfica 1: Ejemplo. Demanda mensual	17
Gráfica 2: Ejemplo. Déficit mensual	17
Gráfica 3: Aportaciones y demanda total anual	27
Gráfica 4: Aportaciones y demanda total anual	29
Gráfica 5: Aportaciones y demanda total anual	31
Gráfica 6: Aportaciones y demanda total anual	33
Gráfica 7: Aportaciones y demanda total anual.....	35
Gráfica 8: Aportaciones y demanda total anual	36
Gráfica 9: Aportaciones y demandas totales.....	38
Gráfica 10: Aportaciones y demanda total anual.....	39
Gráfica 11: Aportaciones, aportaciones reguladas y demanda total anual	42
Gráfica 12: Resultados de Índices de Sostenibilidad para la DU de las Juntas de la margen derecha	47
Gráfica 13: Resultados de Índices de Sostenibilidad para la DU de las Juntas de la margen izquierda	48
Gráfica 14: Déficit de la DU del Segre.....	49
Gráfica 15: Resultados de Índices de Sostenibilidad para la DA de las Juntas de la margen derecha	53
Gráfica 16: Resultados de Índices de Sostenibilidad para la DA de las Juntas de la margen izquierda	54
Gráfica 17: Déficit de la DA de Bajo Ebro	55
Gráfica 18: Resultados de Índices de Sostenibilidad para el Qeco de las Juntas de la margen derecha.....	59
Gráfica 19: Déficit del Qeco de la Junta nº 2	60
Gráfica 20: Resultados de Índices de Sostenibilidad para el Qeco de las Juntas de la margen izquierda.....	61
Gráfica 21: Índices de Sostenibilidad de la DA se la Junta nº1 para diferentes umbrales	65
Gráfica 22: Índices de Sostenibilidad de la DA se la Junta nº13 para diferentes umbrales	66

Gráfica 23: Índices de Sostenibilidad de la DA se la Junta nº14 para diferentes umbrales	67
Gráfica 24: Índices de Fiabilidad de la DU para los diferentes escenarios.....	73
Gráfica 25: Índices de Resiliencia de la DU para los diferentes escenarios	74
Gráfica 26: Meses de déficit de la demanda 12. Segre Alto – C. Urgell para los escenarios 1 y 2	74
Gráfica 27: Índices de Vulnerabilidad de la DU para los diferentes escenarios.....	75
Gráfica 28: Índices de Sostenibilidad de la DU para los diferentes escenarios	76
Gráfica 29: Índices de Fiabilidad de la DA para los diferentes escenarios	77
Gráfica 30: Índices de Resiliencia de la DA para los diferentes escenarios	78
Gráfica 31: Índices de Vulnerabilidad de la DA para los diferentes escenarios	79
Gráfica 32: Índices de Sostenibilidad de la DA para los diferentes escenarios.....	80
Gráfica 33: Índices de Fiabilidad del Qeco para los diferentes escenarios	81
Gráfica 34: Índices de Resiliencia del Qeco para los diferentes escenarios.....	81
Gráfica 35: Índices de Vulnerabilidad del Qeco para los diferentes escenarios	82
Gráfica 36: Índices de Sostenibilidad del Qeco para los diferentes escenarios.....	83

Índice Anejos

Anejo 1: Unidades de demanda urbana introducidas en el modelo.....	85
Anejo 2: Unidades de demanda agraria introducidas en el modelo.....	87
Anejo 3: Embalses introducidos en el modelo con sus respectivas capacidades	90
Anejo 4: Capacidad de los canales introducidos en el modelo	91
Anejo 5: Tramos con caudal ecológico incluidos en el modelo.....	92

1. Introducción

1.1 Contexto

La explotación de los recursos hídricos y su posterior suministro a las demandas requiere un correcto funcionamiento entre diferentes actores, como pueden ser las instituciones, los usuarios, la tecnología y la economía. La relación entre las diferentes partes conforma un necesario equilibrio en donde se puede garantizar el suministro a las demandas con los recursos hídricos disponibles. En cambio, existen diferentes factores que pueden alterar el equilibrio, como por ejemplo el Cambio Climático, los periodos de sequía o las alteraciones demográficas. Son muchas las circunstancias que hacen que el equilibrio sea propenso a variaciones.

El correcto suministro a las demandas es un aspecto muy importante para el ser humano. La disponibilidad de recursos hídricos garantiza el abastecimiento a la población y la posibilidad de destinar el recurso para la producción agrícola o industrial. Sin el correcto suministro, gran parte de la población podría verse seriamente afectada. Por lo tanto, el concepto de garantía de la demanda es de vital importancia, ya que representa el balance o funcionamiento de los sistemas de recursos hídricos.

Para ello, es necesario realizar una correcta gestión de los recursos hídricos, teniendo en cuenta todos los factores que puedan influir en la alteración del equilibrio entre el suministro y la demanda. En el presente trabajo se realiza la gestión de los recursos hídricos en la Demarcación del Ebro manejando diferentes resultados, y eligiendo los más adecuados para el sistema a nivel de garantía de las demandas y los caudales ecológicos. Estos resultados se muestran mediante Índices de Sostenibilidad, los cuales dan un enfoque del estado general del sistema y permiten hacer un diagnóstico de éste.

En este trabajo se tienen también en cuenta diferentes escenarios futuros que puedan alterar el sistema, siendo representados nuevamente con los Índices de Sostenibilidad.

1.2 Cuenca de Estudio

El trabajo desarrollado en este Trabajo Fin de Máster se centra en la Demarcación Hidrográfica del Ebro (DHE). La DHE es la cuenca más extensa a nivel nacional y eso se deriva en una cuenca compleja, ya que las características de cada zona de la cuenca

varían considerablemente según la posición geográfica en la que se encuentre. Así pues, hay gran diferencia de población, demanda y clima entre los diferentes territorios de la DHE, y estos aspectos influyen directamente en la correcta gestión de los recursos hídricos. Es por ello que la Cuenca del Ebro está dividida en varios subsistemas o Juntas de Explotación que se analizan individualmente para facilitar una mejor gestión.

1.3 Objetivos del trabajo

Este trabajo tiene varios objetivos:

Por un lado, se pretende analizar el estado actual del sistema de recursos hídricos de la Cuenca del Ebro. Para ello se realiza un modelo de gestión inicial. Por otro lado, se obtienen Índices de Sostenibilidad para las demandas y los caudales ecológicos con el objetivo de realizar un diagnóstico del sistema. Otro de los objetivos principales es realizar un análisis comparativo de los Índices de Sostenibilidad para diferentes escenarios futuros.

1.4 Estructura del Documento

Con el objetivo de facilitar la comprensión del trabajo se ha estructurado en diferentes apartados:

- Al inicio se da un enfoque global sobre los datos básicos y la información relevante de la Cuenca del Ebro. Esto se realiza en el capítulo 2 del trabajo.
- Posteriormente, en el capítulo 3 se mencionan las herramientas que se han utilizado para la elaboración del trabajo.
- Una vez clarificada la metodología, en el capítulo 4 se detallan los datos y la información necesaria de la cuenca para para el desarrollo del modelo. También se concretan las diferentes Juntas de Explotación existentes en la demarcación.
- Una vez construido el modelo se exponen los resultados obtenidos en la simulación, los cuales vienen detallados en el capítulo 5.
- Tras obtener los resultados de la simulación del modelo, en el capítulo 6 se calculan los Índices de Sostenibilidad de la demanda urbana, la demanda agraria y los caudales ecológicos.
- También se realiza un análisis de sensibilidad de la demanda agraria estableciendo diferentes umbrales de fallo, tema que corresponde al capítulo 7

- Finalmente, en el capítulo 8 se vuelve a calcular los Índices de Sostenibilidad teniendo en cuenta diferentes escenarios futuros.

2. Cuenca del Ebro

2.1 Datos generales de la cuenca

La información expuesta en el apartado 2 se ha obtenido en su mayor parte del **Plan Hidrológico de la Demarcación Hidrográfica del Ebro** (Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, 2015).

La parte española de la DHE está situada en el cuadrante noroeste de la península ibérica. El código europeo de la demarcación es ES091, por lo que el código nacional de la demarcación es 91. La Cuenca del Ebro tiene una extensión de 85.660 km², lo que supone el 17,3% del territorio español, y es la cuenca hidrográfica más extensa del territorio español. La cuenca hidrográfica atraviesa 9 comunidades autónomas: Aragón, Cataluña, Castilla y León, Castilla La Mancha, Cantabria, La Rioja, Navarra, País Vasco y Comunidad Valenciana. De éstas destacan Aragón y La Rioja, cuyos territorios ocupan cerca del 50% y el 100% del territorio, respectivamente.

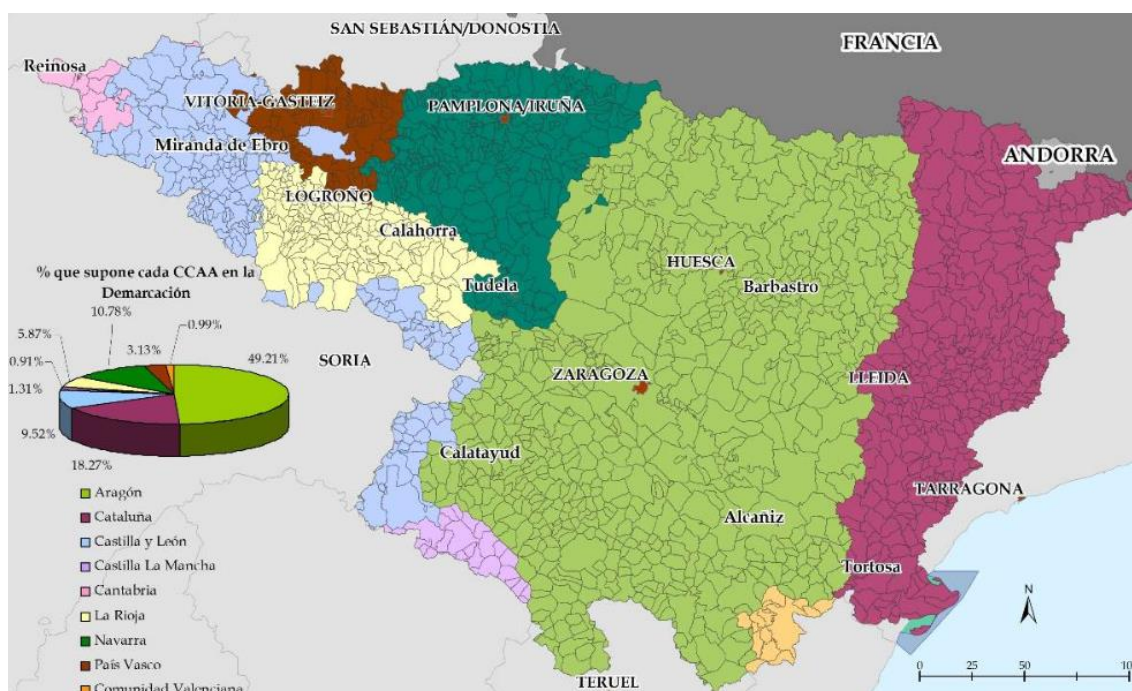


Figura 1: Ámbito territorial de la Demarcación Hidrográfica del Ebro (Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, 2015)

El Plan Hidrológico del Ebro se ciñe exclusivamente en la parte española de la DHE, donde se encuentra en su práctica totalidad. A pesar de ello, se debe tener en cuenta los territorios pertenecientes a Andorra y Francia. Aunque Andorra no forma parte de la Unión Europea, y, por tanto, no está sujeto a la legislación comunitaria, existen acuerdos y entendimientos entre las tres partes. Esto hace que no haya necesidad de establecer demarcaciones internacionales.



Figura 2: Parte internacional de la Demarcación Hidrográfica del Ebro (Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, 2015)

La Cuenca del Ebro es un territorio poco poblado en el contexto europeo. La población en 2013 era de 3,2 millones de habitantes con una densidad de solo 38 habitantes/km², mientras que la densidad media española es de 93 habitantes/km². Alrededor de 1.900.000 habitantes viven en núcleos de más de 20.000 habitantes.

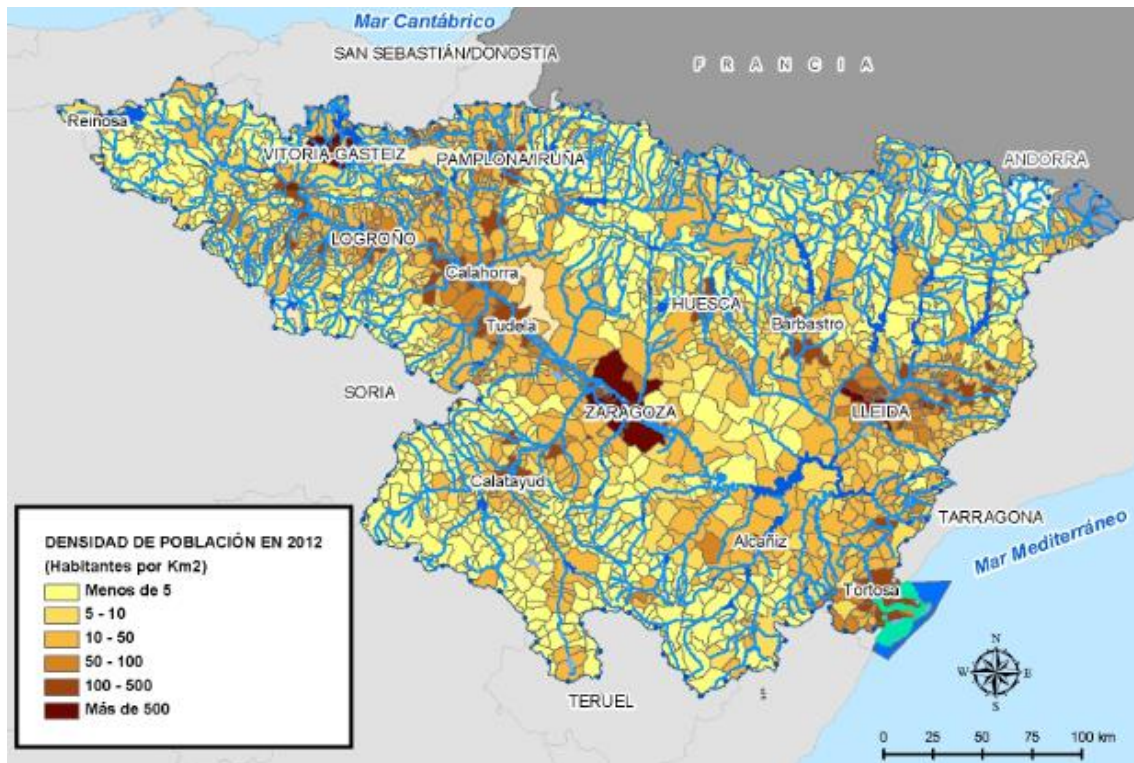


Figura 3: Densidad de población (Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, 2015)

Por otro lado, los cultivos son un aspecto importante de la cuenca, ya que la demanda agraria es de gran magnitud en la DHE. La especialización productiva se divide en dos grupos: los cultivos herbáceos y los cultivos leñosos.

Los cultivos herbáceos más representativos de la cuenca son la alfalfa, la cebada, el maíz, el trigo y el arroz. Además, el arroz, la alfalfa y el maíz también son los cultivos dotaciones unitarias más altas. Respecto a los cultivos leñosos, las especies con mayor implantación superficial son el melocotonero, el viñedo de uva para vino, el peral y el olivar para aceite (Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, 2015).

2.1.1 Marco Físico

La Demarcación Hidrográfica del Ebro está constituido por diversos dominios geológicos. Entre ellos cabe destacar las cadenas alpinas principales, los Pirineos y la Cadena Ibérica, y la depresión del Ebro que se encuentra entre ambas cadenas.

Dada su extensión, la cuenca del Ebro se compone de climas muy variados. Esto hace que haya un gran contraste de precipitación y temperatura entre las diferentes zonas de la cuenca. Predomina el clima mediterráneo, y, en menor medida, el oceánico. Dentro del mediterráneo hay diferentes variedades climáticas: de montaña, de transición, continental, prelitoral y litoral.

La precipitación media de la DHE es de 622 mm/año, aunque en cuanto al reparto territorial, esta precipitación está comprendido entre 3.813 mm/año en la estación de Arruazu (Navarra) y 100 mm/año en la extensa zona central del valle, donde la lluvia es muy escasa. El año hidrológico con menos precipitación fue 1949/1950 con 452 mm/año, y el más húmedo 1948/1949 con 809 mm/año.

En cuanto a la temperatura, la media anual se sitúa alrededor de los 12,5 °C. La temperatura también se distribuye irregularmente en la cuenca, llegando a sobrepasar los 15 °C en la depresión central, donde más escasean las precipitaciones.

La red fluvial del ámbito territorial de la demarcación del Ebro está compuesta, básicamente, por la propia cuenca española del Ebro con el territorio del valle d'Arán en la cuenca del Garona. La longitud de la red principal es de unos 12.820 km. El cauce principal de la red es el propio río Ebro, el cual tiene una longitud de 970 km. Los principales afluentes del Ebro son los ríos Aragón, Gállego, Cinca y Segre por la margen izquierda los ríos Jalón y Guadalope por la margen derecha.

En cuanto a las masas de agua, estas se clasifican en superficiales o subterráneas. En las superficiales se incluyen embalses, lagos, ríos o canales, aguas de transición y aguas costeras. Estas masas se pueden clasificar como naturales, artificiales o muy modificadas según su naturaleza. Cabe mencionar que no todas las escorrentías fluyen a la red fluvial, ya que existen varias áreas endorreicas. Estas áreas se encuentran en terrenos de depresión de permeabilidad baja, lo que hace que se creen encharcamientos que en gran parte se acaban perdiendo por evaporación. La cuenca endorreica más destacada es la de Gallocanta, la cual tiene una extensión de 541 km², y se ubica en su mayor parte en territorio aragonés.

En la demarcación del Ebro hay un total de 823 masas de agua superficiales, la gran mayoría naturales.

Naturaleza	Categoría	Nº	Subtotal
Natural	Ríos	630	694
	Lagos	58	
	Transición	3	

	Costera	3	
Muy Modificada	Ríos	70	122
	Lagos	39	
	Transición	13	
	Costera	0	
Artificial	Ríos	2	7
	Lagos	5	
	Transición	0	
	Costera	0	
		Total	823

Tabla 1: Masas de agua superficial según su naturaleza (Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, 2015)

Las masas de agua artificiales son aquellas creadas por la actividad humana, mientras que se definen las masas muy modificadas como masas superficiales que han sufrido alteraciones físicas debido a la actividad humana.

Por otro lado, el número de masas de agua tipo río es de 702, tipo lago 102, transición 16 y costeras 3.

Naturaleza	Categoría	Nº	Subtotal
Ríos	Natural	630	702
	Muy modificada	70	
	Artificial	2	
Lagos	Natural	58	102
	Muy modificada	39	
	Artificial	5	
Transición	Natural	3	16
	Muy modificada	13	
	Artificial	0	
Costera	Natural	3	3
	Muy modificada	0	
	Artificial	0	

Tabla 2: Masas de agua superficial según su categoría (Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, 2015)

Las masas de agua subterránea son volúmenes diferenciados de aguas subterráneas en acuíferos. En el Plan Hidrológico del Ebro vienen recogidas 105 masas de agua subterránea, las cuales cubren aproximadamente el 65% de la superficie de la cuenca (Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, 2015).

2.1.2 Actividad económica

Las actividades económicas desarrolladas en la Demarcación del Ebro aportaron 75.472 Millones de euros al Valor Añadido Bruto (VAB) nacional, lo que supone un 8% del total.

Rama de actividad	Demarcación del Ebro	España
Servicios	63,5 %	71,6 %
Industria	24,8 %	17,4 %
Construcción	8,6 %	8,6 %
Agricultura, pesca y minería	3 %	2,5 %

Tabla 3: Valor añadido bruto de las diferentes ramas de actividad (Instituto Nacional de Estadística, 2012)

La tabla anterior muestra las aportaciones porcentuales al VAB por rama de actividad tanto en la Demarcación del Ebro como en España. Se puede observar que tanto el sector industrial como el primario se encuentran por encima de la media nacional, lo que refleja un fuerte complejo agroindustrial. En cambio, el sector de los servicios es considerablemente más débil debido al menor desarrollo turístico.

En cuanto al empleo, el número de puestos de trabajo se encontraba en alrededor de 1,35 millones (según los datos de la Contabilidad Regional del INE). El empleo a nivel porcentual de las diferentes ramas de actividad está relacionado con los porcentajes del VAB (Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, 2015).

Rama de actividad	Demarcación del Ebro	España
Servicios	69.4 %	76,6 %
Industria	18.7 %	12,8 %
Construcción	6,6 %	6,5 %
Agricultura, pesca y minería	5,3 %	4,2 %

Tabla 4: Empleo de las diferentes ramas de actividad (Instituto Nacional de Estadística, 2012)

2.1.3 Subsistemas

La Cuenca del Ebro es la cuenca más extensa del país, y esto conlleva a tener que dividir la cuenca en varios sistemas de explotación. Así pues, la Demarcación Hidrográfica del Ebro está dividida en 17 Juntas de Explotación, a las que hay que añadir la parte española de la cuenca del Garona, la cual ha sido añadida recientemente como la Junta 18. La finalidad de las Juntas de Explotación es gestionar y coordinar la explotación de las obras hidráulicas y los recursos hídricos. Cada Junta está compuesta por uno o más afluentes del río Ebro, y cabe destacar que hay ciertos afluentes que pertenecen a dos Juntas de Explotación diferentes, ciñéndose siempre a criterios de gestión. La enumeración de las Juntas comienza en la cabecera del Ebro, trasladándose así hasta el delta del Ebro por la margen derecha de éste, y siguiendo de nuevo hasta la cabecera por la margen izquierda del Ebro.

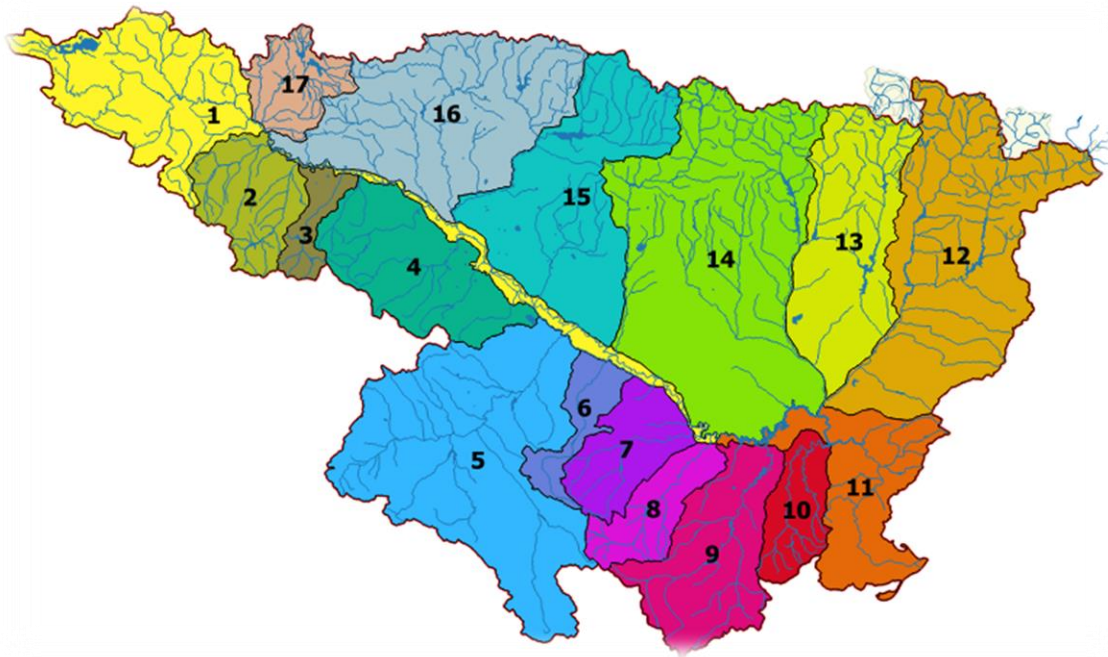


Figura 4: Juntas de Explotación de la DHE

En la siguiente tabla se detalla cada Junta de Explotación con sus respectivas cuencas vertientes y embalses.

Junta de Explotación	Cuencas vertientes	Embalses
1.Cabecera del Ebro y eje	Rudrón, Oca, Oroncillo, Nela, Jerea, Omecillo y Eje del Ebro hasta Mequinenza	Ebro y La Loleta

2.Najerilla y Tirón	Tirón y Najerilla	Mansilla
3.Iregua	Iregua	Pajares y González Lacasa
4.Afluentes al Ebro desde Leza a Huecha	Leza, Cidacos, Alhama, Queiles y Huecha	Val
5.Jalón	Jalón	La Tranquera
6.Huerta	Huerta	Las Torcas
7.Aguas Vivas	Aguas Vivas y Ginel	Moneva
8.Martín	Martín	Cueva Foradada
9.Guadalope	Guadalope y Regallo	Calanda, Caspe y Santolea
10.Matarraña	Matarraña	Peña
11.Bajo Ebro	Eje del Ebro desde Mequinenza y río Ciurana	Mequinenza y Ribarroja
12.Segre	Segre (afluente Noguera Pallaresa)	Camarasa, Terradets, Talarn, Oliana y Rialb
13.Ésera y Noguera Ribagorzana	Ésera (afluente del Cinca) y Noguera Ribagorzana (afluente del Segre)	Canelles, Escalles, Santa Ana y Barasona.
14.Gállego y Cinca	Gállego y Cinca (afluente del Segre)	El Grado, Mediano, Vadiello, La Sotonera, Búbal y Lanuza
15.Aragón y Arba	Aragón y Arba	Yesa
16.Irati, Arga y Ega	Ega, Irati y Arga	Itoiz, Eugui y Alloz
17.Bayas, Zadorra e Inglares	Zadorra, Bayas e Inglares	Ullivarri, Urrunaga y Albiña

Tabla 5: Juntas de Explotación y sus respectivas cuencas vertientes y embalses (Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, 2015) y elaboración propia

Tal y como se ha apuntado anteriormente, la precipitación muy escasa en la depresión del Ebro, el cual se ubica en las Juntas de Explotación de la margen derecha del Ebro. Es por ello que los subsistemas de la margen derecha tienen más problemas de escasez de agua que los subsistemas de la margen izquierda. Aunque, por otro lado, en las Juntas de la margen izquierda la magnitud de las demandas es mucho mayor, por lo que el sistema se ve compensado hasta cierto punto. Dado que la demanda es mucho mayor, este trabajo está más enfocado en las Juntas de la margen izquierda por tener mayor trascendencia.

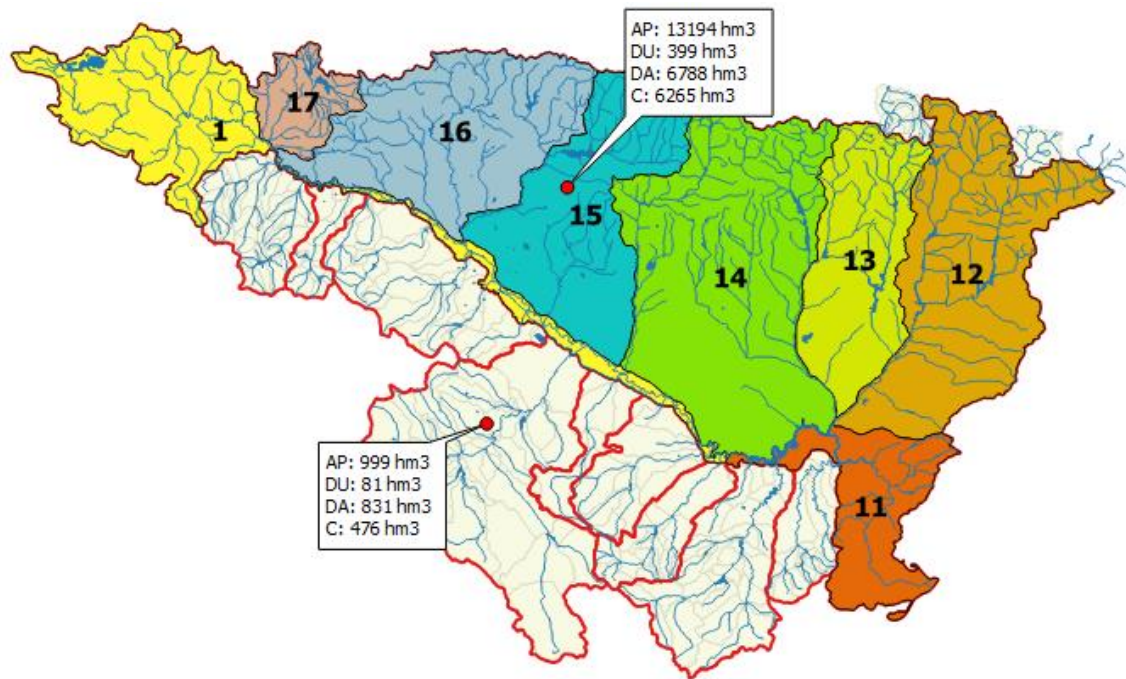


Figura 5: Aportaciones, demandas y capacidad de los embalses de la margen derecha e izquierda del río Ebro

En la figura 5 se puede observar la magnitud de las aportaciones anuales, demandas y capacidad de los embalses de las dos márgenes del río Ebro, donde queda claro la drástica diferencia existente entre ambas.

2.1.4 Balance hídrico

Este apartado se plantea dar una perspectiva global sobre el funcionamiento de la Cuenca del Ebro. Los datos básicos para plantear el balance hídrico son las aportaciones, la demanda urbana y la demanda agraria.

Aportaciones	14193 hm ³
Demanda urbana	480 hm ³
Demanda agraria	7620 hm ³
Capacidad embalses	6741 hm ³

Tabla 6: Datos globales anuales de la cuenca

La tabla anterior muestra los datos globales de la cuenca, aunque ya se ha mencionado en el apartado anterior que gran parte de las aportaciones y demandas pertenece a las Juntas de la margen izquierda. Partiendo de esta información, el Plan Hidrológico del Ebro muestra un balance actual donde los resultados obtenidos indican la existencia de

varios problemas en algunos de los subsistemas. Así pues, los mayores déficits se localizan en:

- El **subsistema 4**, fundamentalmente por la falta de regulación ya que únicamente hay 24,2 hm³ de embalse frente a 272 hm³ de demanda (Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, 2015).
- Los **subsistemas 7, 8 y 10**, que combinan una regulación insuficiente con niveles de demanda elevados en relación a los recursos disponibles (Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, 2015).
- El **subsistema 15**, por la insuficiente garantía de los riegos que dependen del Canal de Bardenas (Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, 2015).

Como se puede ver, la mayoría de las Juntas en las que hay un déficit considerable se encuentran en la margen derecha del río Ebro, debido fundamentalmente a la escasa precipitación y la pequeña capacidad de los embalses.

A su vez, cabe mencionar que el propio Plan Hidrológico del Ebro pone en manifiesto la existencia de un déficit considerable en la demanda agraria, la cual se estima que es de 874 hm³/año (Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, 2015).

3. Metodología y herramientas

3.1 AQUATOOL+/SIMGES

En este trabajo se ha hecho uso principalmente de las herramientas de AQUATOOL+ y SIMGES. AQUATOOL+ es un interface o entorno de trabajo para el desarrollo y análisis de sistemas de ayuda a la decisión en planificación y gestión de cuencas. El contenido del programa es una serie de fichas interactivas que permiten la edición de los datos necesarios para el análisis de alternativas de gestión de los recursos hídricos de cuencas hidrográficas. Como entorno de trabajo proporciona acceso directo a otros programas que realizan funciones específicas relacionadas con el análisis de la gestión de una cuenca. Todos estos programas son integrados y coordinados con esta interfaz haciendo

que el usuario pueda manejarlos todos sin notar que está cambiando de programa (Solera Solera, Paredes Arquiola, & Andreu Álvarez, 2015).

Entre los programas integrados en la interfaz de AQUATOOL+ se encuentra la herramienta SIMGES. El modelo SIMGES es un modelo general para la Simulación de la Gestión de Cuencas, o sistemas de recursos hidráulicos complejos, en los que se dispone de elementos de regulación o almacenamiento tanto superficiales como subterráneos, de captación, de transporte, de utilización y/o consumo, y de dispositivos de recarga artificial (Andreu Álvarez, Solera Solera, Capilla Romá, & Ferrer Polo, 2015).

En el modelo del Ebro se han introducido diferentes componentes: aportaciones, embalses, demandas, tomas, conducciones, canales y retornos. SIMGES realiza una gestión óptima mes a mes a partir de esta información introducida en el modelo, y proporciona una serie de resultados que se detallan a continuación:

- Déficit de demandas: SIMGES proporciona series temporales de déficit de demandas las cuales se utilizan en el presente trabajo para calcular Índices de Sostenibilidad.
- Volumen de embalses: Otro resultado importante que se obtiene es el volumen de cada embalse a lo largo del periodo de simulación. Se obtienen gráficos en los que es posible observar las fases de llenado y vaciado de cada embalse y así poder gestionar mejor su volumen.
- Caudal en conducciones: También es posible obtener el caudal que transcurre por cada conducción. Una vez que el programa establece el caudal que fluye por las conducciones a lo largo del periodo de estudio se puede verificar si se cumplen los caudales ecológicos, y se pueden calcular los Índices de Sostenibilidad para los caudales ecológicos.

A continuación, se muestra el esquema del modelo del Ebro realizado en AQUATOOL+.

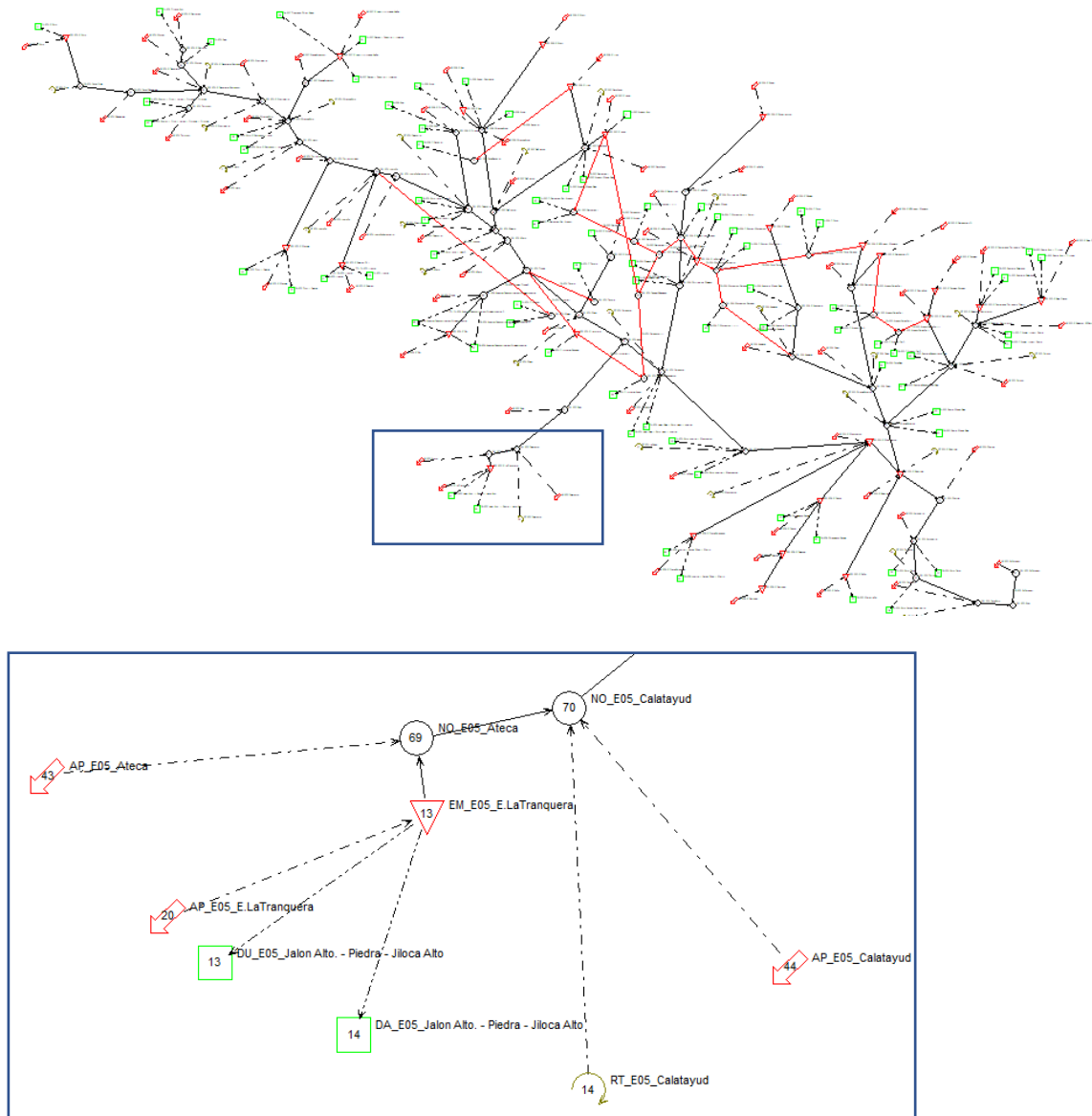


Figura 6: Modelo del Ebro introducido en AQUATOOL+

3.2 Índices de Sostenibilidad

En la actualidad, en la legislación española se están utilizando ciertos índices o criterios a la hora de evaluar y analizar el funcionamiento del sistema de recursos hídricos, como por ejemplo los criterios UTAH. En cambio, en el presente trabajo se pretende hacer uso de unos índices más generalistas y clásicos a nivel científico, con el objetivo de explorar ámbitos no tan empleados. Estos índices son los denominados Índices de Sostenibilidad. A la hora de analizar el modelo, se centran en tres aspectos diferentes para, así, obtener un diagnóstico del sistema. Estos índices son de Fiabilidad, Resiliencia y Vulnerabilidad.

Una vez que se tienen estos tres índices se obtienen los Índices de Sostenibilidad que relacionan los tres índices anteriores.

A continuación, se detalla cada uno de los índices empleados para el análisis del sistema del Ebro.

- **Índice de Fiabilidad (F):** El Índice de Fiabilidad indica la probabilidad de que no haya fallo en el sistema. Para ello se divide el número de meses en los que no hay fallo por el número de meses totales en el periodo de estudio.

$$F = \frac{N^{\circ} \text{ meses Def} = 0}{\text{Meses totales}} = \frac{n^{\circ} \text{ meses} - n^{\circ} \text{ fallos}}{n^{\circ} \text{ meses}}$$

Fórmula 1: Fórmula del Índice de Fiabilidad (Sandoval-Solis, McKinney, & Loucks, 2011)

Así pues, cuanto más se aproxime el índice de fiabilidad a 1, menos fallos tendrá el subsistema de análisis. En cambio, si la fiabilidad tiende a 0 el subsistema presentara un gran número de meses con déficit.

- **Índice de Resiliencia (Rs):** Indica lo prolongados que están los meses en los que hay fallo. Para su cálculo se tienen en cuenta las rachas de meses en los que hay fallo, es decir, los meses en los que no hay déficit pero al siguiente mes sí que lo hay, y se divide por el número de meses de fallo totales.

$$R_s = \frac{N^{\circ} \text{ veces Def} = 0 \text{ y Def}_{t+1} > 0}{N^{\circ} \text{ veces Def} > 0} = \frac{\sum (n^{\circ} \text{ veces}_t \text{ No fallo} \rightarrow \text{fallo}_{t+1} = 1)}{\sum \text{fallos}}$$

Fórmula 2: Fórmula del Índice de Resiliencia (Sandoval-Solis, McKinney, & Loucks, 2011)

Si el índice de resiliencia resulta ser 1, esto significaría que todos los meses con fallo están separados entre ellos para el periodo de estudio. Sin embargo, una resiliencia cercana al 0 significaría que los meses con fallo son muy prolongados, están juntos entre sí y esto supondría un gran problema para el sistema. Cuanto más prolongados sean los periodos o meses de sequía mayor impacto tendrán a la hora de poder garantizar el suministro de agua.

- **Índice de Vulnerabilidad (V):** Indica el déficit porcentual respecto a la demanda existente, por lo que muestra el impacto que tiene ese déficit. Se obtiene simplemente dividiendo el déficit de los meses con fallo, es decir, la parte de la demanda que no es posible suministrar, por la demanda de ese mes.

$$V = \sum_{t=1}^{n^{\circ} \text{ fallos}} \frac{Def_t(Def \rightarrow fallo)}{Dem_t} = \frac{\sum \%Def}{sum \text{ fallos}}$$

Fórmula 3: Fórmula del Índice de Vulnerabilidad (Sandoval-Solis, McKinney, & Loucks, 2011)

En este caso, si la vulnerabilidad es 1 significa que no se puede suministrar la demanda existente, mientras que una vulnerabilidad cercana al 0 significa que se suministra prácticamente toda la demanda.

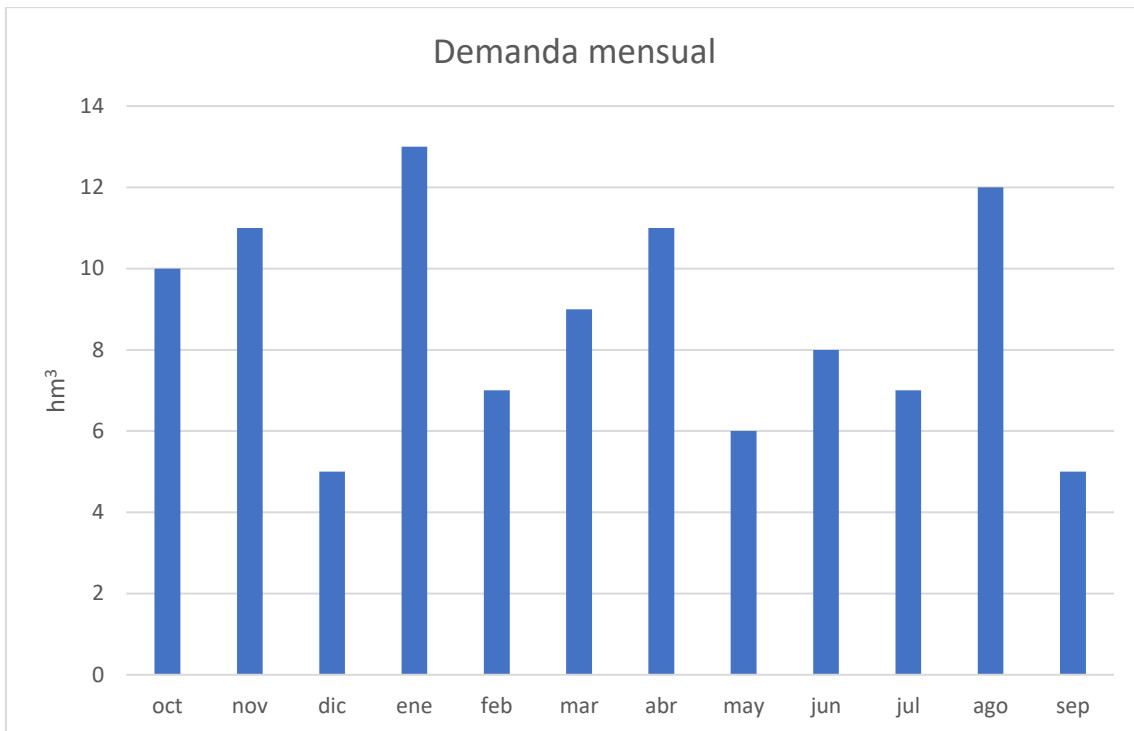
- **Índice de Sostenibilidad (IS):** Relaciona los índices mencionados anteriormente. Se puede considerar como el índice más versátil ya que tiene en cuenta los diferentes aspectos que analizan los índices anteriores y que afectan directamente al sistema. Se obtiene mediante la siguiente fórmula:

$$IS = (Fiabilidad * Resiliencia * (1 - Vulnerabilidad))^{1/3}$$

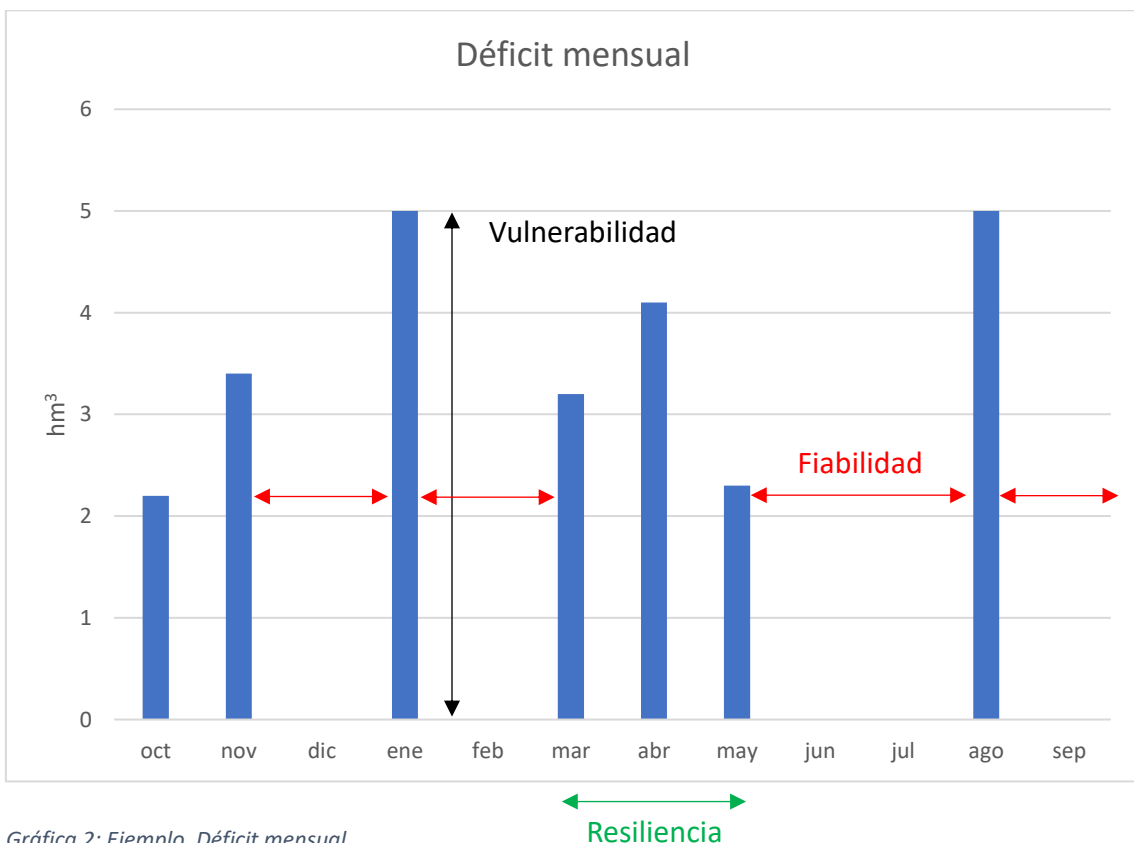
Fórmula 4: Fórmula del Índice de Sostenibilidad (Sandoval-Solis, McKinney, & Loucks, 2011)

Como se puede observar, el Índice de Sostenibilidad relaciona directamente los tres índices. Como en los casos anteriores el rango varía entre 0 y 1, funcionando mejor el sistema cuanto más próximo esté al 1.

Para poder comprender mejor los Índices de Sostenibilidad se muestra un ejemplo exponiendo cada uno de estos índices. No es un ejemplo real, simplemente tiene como finalidad aclarar cómo se obtiene cada uno de estos índices.



Gráfica 1: Ejemplo. Demanda mensual



Gráfica 2: Ejemplo. Déficit mensual

En los gráficos superiores se observan las demandas y los déficits mensuales que hay a lo largo de un año hidrológico. En este caso, se supondrá que estos datos se repiten año

tras año. Con esta información es posible obtener los índices de sostenibilidad para poder realizar un diagnóstico del sistema.

- Índice de Fiabilidad:

$$F = \frac{N^{\circ} \text{ meses Def} = 0}{\text{Meses totales}} = \frac{5}{12} = 0.42$$

Fórmula 5: Cálculo del Índice de Fiabilidad

El número de meses en los que no hay déficit es 5, y el número de meses totales en el presente ejemplo es 12. Dividiendo ambos se obtiene una fiabilidad baja, ya que hay déficit en la mayoría de meses del periodo de estudio.

- Índice de Resiliencia:

$$R_s = \frac{N^{\circ} \text{ veces Def} = 0 \text{ y Def}_{t+1} > 0}{N^{\circ} \text{ veces Def} > 0} = \frac{4}{7} = 0.57$$

Fórmula 6: Cálculo del Índice de Resiliencia

En este caso el dividendo es el número de meses en los que el déficit es 0, pero el mes siguiente hay déficit. En el ejemplo en cuestión el número de meses son 4 (diciembre, febrero, julio y septiembre). Es importante añadir el mes de septiembre, ya que se ha supuesto que estos datos se repiten anualmente, y en el mes de octubre hay déficit. En cuanto al divisor, este es el número de meses en los que hay fallo, que son 7.

La resiliencia obtenida no es del todo baja, ya que hay ciertos meses de déficit separados de otros.

- Índice de Vulnerabilidad:

$$V = \sum_{t=1}^{n^{\circ} \text{ fallos}} \frac{\text{Def}_t(\text{Def} \rightarrow \text{fallo})}{\text{Dem}_t} = \frac{\frac{2.2}{10} + \frac{3.4}{11} + \frac{5}{13} + \frac{3.2}{9} + \frac{4.1}{11} + \frac{2.3}{6} + \frac{5}{12}}{7} = 0.35$$

Fórmula 7: Cálculo del Índice de Vulnerabilidad

Para el cálculo de la vulnerabilidad, se han cogido los meses en los que hay fallo y se ha calculado el porcentaje resultante del déficit respecto a la demanda de ese mismo mes. Para finalizar, se ha hecho un promedio de cada uno de estos porcentajes de déficit mensual. Así pues, se obtiene un resultado que no es del todo negativo, ya que el rango

del Índice de Vulnerabilidad varía entre 0 y 1, siendo 0 el resultado más conveniente. Esto quiere decir que el déficit (en los meses que hay fallo) no es desmesurado respecto a la demanda existente.

Con la finalidad de poder representar de una manera más ilustrativa los resultados de los Índices de Vulnerabilidad, en los resultados manejados en este trabajo se ha utilizado la inversa a la vulnerabilidad, por lo que el resultado óptimo para el Índice de Vulnerabilidad es 1.

- Índice de Sostenibilidad:

$$IS = (Fiabilidad * Resiliencia * (1 - Vulnerabilidad))^{1/3}$$
$$= (0.42 * 0.57 * (1 - 0.35))^{1/3}$$

$$IS = 0.54$$

Fórmula 8: Cálculo del Índice de Sostenibilidad

Como se ha comentado anteriormente, el Índice de Sostenibilidad relaciona la fiabilidad, la resiliencia y la vulnerabilidad. Los resultados de los índices son relativamente bajos, aunque su gravedad dependerá de que tipo de demandas se estén analizando. Por ejemplo, estos índices tendrían un mayor impacto para la demanda urbana que para la agraria. Esto se debe a las distintas prioridades designadas a cada tipo de demanda, por lo que se destina más agua a demandas con mayor prioridad, habiendo una probabilidad menor de que haya déficit respecto a demandas con menor prioridad.

Dado que hay una considerable cantidad de demandas y caudales ecológicos de los hay que obtener los Índices de Sostenibilidad, se ha hecho uso del software MATLAB, en el que se han realizado programaciones para lograr los Índices de Sostenibilidad de las demandas urbanas y agrarias y los caudales ecológicos de forma directa, partiendo de los resultados obtenidos en SIMGES. También se ha programado para obtener los índices por Juntas de Explotación.

4. Desarrollo del Modelo

A la hora de montar y poder simular el modelo del Ebro es necesario introducir y manejar varios aspectos importantes de la cuenca para poder realizar una gestión y evaluación del sistema lo más representativa posible.

4.1 Aportaciones

Las aportaciones se han obtenido del Sistema Integrado para la Modelación del Proceso Precipitación Aportación (SIMPA). Este sistema se utiliza para gestionar y analizar la información temporal y espacial procedente de la Base de Datos del CEDEX y donde se integran las aplicaciones hidrológicas desarrolladas en este organismo para simular diferentes procesos del ciclo hidrológico relacionados con los recursos hídricos, las crecidas o la calidad de las aguas (Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas).

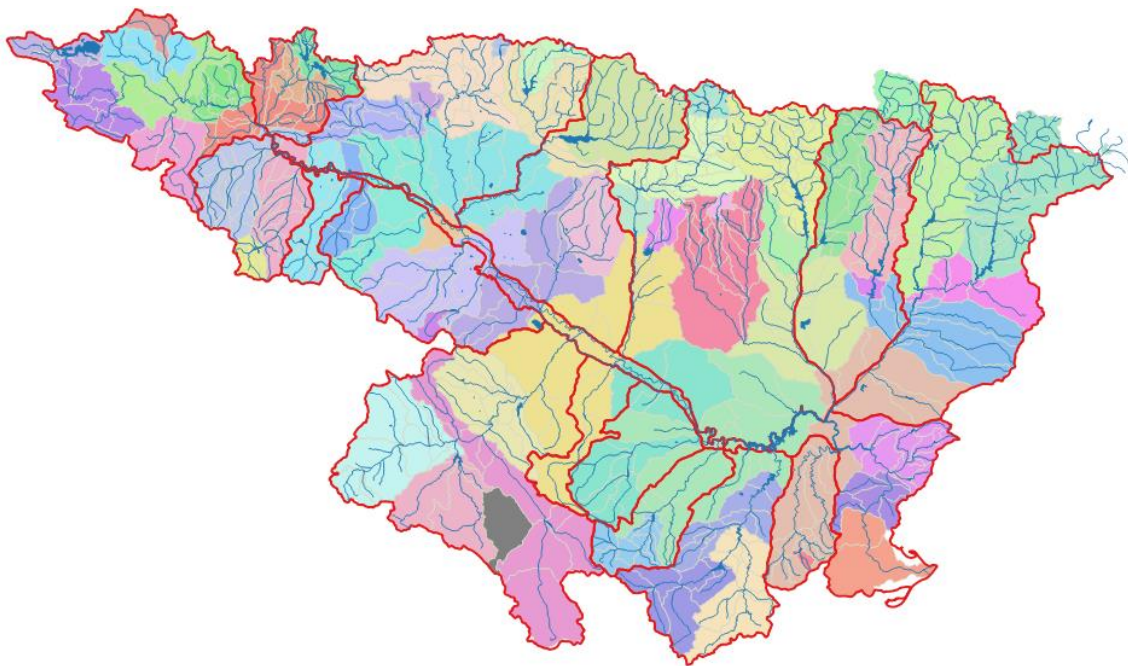


Figura 7: Aportaciones de la DHE

En la imagen anterior se puede observar todas las aportaciones de la DHE con diferentes colores recogidas en capas GIS y posteriormente siendo introducida cada una de ellas en el modelo de AQUATOOL+. Estas aportaciones recogidas son a escala mensual y se han introducido en hm³.

4.2 Demandas

La demanda de agua es el volumen de agua, en cantidad y calidad, que los usuarios están dispuestos a adquirir para satisfacer un determinado objetivo de producción o consumo. Este volumen de agua demandado varía por distintos factores como el precio del agua, el tipo de demanda, la tecnología utilizada, etc. Las demandas pueden ser consuntivas o no consuntivas. Dentro de las no consuntivas se incluyen principalmente aquellos volúmenes destinados tanto a las centrales hidroeléctricas como a la agricultura (Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, 2015).

Hay diferentes tipos de demanda, las principales son la demanda urbana, la demanda agraria, la demanda industrial y la destinada al uso recreativo. Las demandas introducidas en el modelo se han obtenido del Plan Hidrológico del Ebro. En el Plan la demanda destinada al uso recreativo está incluida en la industrial, mientras que esta demanda industrial se ha incluido en la demanda urbana. Por otro lado, la demanda agraria está compuesta por la demanda ganadera y la de regadío, siendo esta última la más importante. También existen dos trasvases importantes que se realizan para abastecer las demandas del Gran Bilbao y Tarragona.

Por lo tanto, en el modelo del Ebro se distinguen tres tipos de demanda: la demanda urbana (se incluye la industrial ya que cogen agua de la misma toma), la demanda agraria y los trasvases.

4.2.1 Demanda urbana

La demanda urbana de la Demarcación Hidrográfica del Ebro comprende el uso doméstico, la provisión a servicios públicos locales e institucionales y el servicio de agua para los comercios, industrias e instalaciones ganaderas ubicadas en el ámbito municipal que se encuentran conectadas a la red de suministro (Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, 2015).

La demanda urbana total en la Demarcación Hidrográfica del Ebro es de 480 hm³. Como se ha mencionado anteriormente, en esta demanda también se incluye la demanda industrial. La dotación unitaria promedio es de 319 litros diarios por habitante permanente. En total hay 49 unidades de demanda urbana (UDU). Las unidades de

demanda urbana están compuestas por uno o varios municipios, y se consideran de manera unitaria para poder realizar una correcta planificación.

A la hora de introducir la demanda urbana en el modelo se han excluido demandas inferiores a 2 hm³. Por otro lado, a la demanda urbana se le ha asignado una mayor prioridad que a la agraria en el modelo, ya que es necesario garantizar el suministro para el uso urbano. Por lo tanto, el sistema destinará más recursos para el abastecimiento urbano en épocas de sequía.

A la hora de considerar que una demanda falla en un mes no se ha establecido ningún valor umbral de déficit, es decir, si en un mes hay déficit por no poder garantizar el suministro a cierta demanda, en ese mes hay fallo, siendo irrelevante que el déficit sea mínimo.

4.2.2 Demanda agraria

La demanda agraria está compuesta por la demanda ganadera y la demanda de riego. La superficie regable total de la demarcación se estima en 965.700 ha. La demanda agraria total de la DHE es de 7.620 hm³, lo que supone un 91% de la demanda total, y de la cual únicamente 57 hm³ son destinados a la ganadería. La demanda de regadío se calcula a partir de las hectáreas de regadíos concesional, de una alternativa de cultivos estimada y de su dotación objetivo, por lo que no deja de ser una aproximación teórica del lado de la seguridad (Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, 2015).

La caracterización de la demanda agraria se realiza en base a las Unidades de Demanda Agraria (UDA). En la DHE existen 55 UDA, y cada una de ellas se caracteriza por compartir características comunes, reuniendo así diferentes zonas agrícolas en una. Existen diferentes aspectos que pueden relacionar una UDA: las comunidades de regantes que lo componen, la ubicación geográfica, el origen del recurso, la tecnología empleada, etc.

En el modelo del Ebro se han excluido las demandas inferiores a 12 hm³.

4.2.3 Trasmases

El volumen de agua destinado a trasvases es de importante consideración en la cuenca del Ebro. Se realizan varios trasvases, aunque únicamente existen dos verdaderamente

relevantes. Uno tiene su destino en la demarcación cantábrica oriental, en particular el área del Gran Bilbao, y el segundo, en las cuencas internas de Cataluña, para el Campo de Tarragona. El resto son de mucha menor entidad.

- **Trasvase Zadorra-Arratia:** Se trata de una transferencia de agua que se realiza a la Demarcación Hidrográfica del Cantábrico Oriental. Este trasvase se realiza desde los embalses de Ulivarri y Urrunaga que se encuentran en el río Zadorra, en la provincia de Álava, País Vasco. Ambos embalses se encuentran muy cercanos entre ellos, por lo que funcionan de una manera compenetrada. Se ha estimado un trasvase medio de 114 hm³ anuales destinados para el abastecimiento y la industria del Gran Bilbao.
- **Trasvase Ebro-Campo de Tarragona:** Es una transferencia que se realiza a la Demarcación Hidrográfica de las cuencas internas de Cataluña. El trasvase se realiza desde los embalses de Mequinenza y Ribarroja situados en el río Ebro. Este trasvase está destinado al abastecimiento de población y uso industrial de un conjunto de poblaciones situadas en la faja costera de la provincia de Tarragona, entre ellos la capital. Se ha estimado que los volúmenes trasvasados se sitúan en torno a 88 hm³ anuales.

4.3 Embalses

En el sistema del Ebro hay una cantidad considerable de embalses a tener en cuenta. En el modelo se han introducido un total de 27 embalses, aunque esta cifra es un tanto engañosa ya que en algunos casos se ha juntado más de un embalse que se encuentran próximos o abastecen a las mismas unidades de demanda. También cabe destacar que hay una cantidad significativa de embalses en construcción y que entrarían en funcionamiento en un periodo corto de tiempo. Para cada embalse se ha considerado un volumen inicial de la mitad de su capacidad, aunque este dato no es tan influyente en el modelo, ya que se han simulado 31 años y el sistema tiende a estabilizarse a su situación con el paso de los meses. Salvo alguna excepción, en el modelo se han considerado únicamente embalses con capacidades superiores a 10 hm³. En la siguiente tabla se pueden observar los embalses principales de la Cuenca del Ebro.

Embalse	Capacidad (hm ³)
---------	------------------------------

Mequinenza	1.428
Canelles	679
Ebro	540
Yesa	447
Mediano	435
Itoiz	417
Rialb	404
El Grado	400

Tabla 7: Embalses con mayor capacidad de la DHE

4.4 Conducciones

Las conducciones son los tramos de río que se introducen en el modelo. Sirven como conexión entre nudos y embalses. En AQUATOOL+ se pueden introducir diferentes tipos de conducción, aunque para el modelo en cuestión se ha hecho uso únicamente de conducciones tipo 1. Estas conducciones son conexiones sin ninguna característica especial, en donde se pueden establecer caudales mínimos (para caudales ecológicos) y máximos mensuales y distintas reglas de operación para poder controlar mejor el flujo de la misma.

4.5 Canales

Los canales son construcciones artificiales diseñados para transportar agua. En el modelo del Ebro se han introducido varios canales ya que éstos tienen una gran importancia en el funcionamiento del sistema. Los canales se han considerado como tramos de río, por lo que se han introducido como conducciones tipo 1. Para poder distinguirlos de los tramos de río, se han introducido en AQUATOOL+ en color rojo (ver figura 6).

4.6 Caudales ecológicos

La introducción de caudales ecológicos en los tramos de río necesarios es de vital importancia para preservar los valores ecológicos de los cauces y sus alrededores. Por ello, en el modelo se han establecido caudales mínimos en los tramos de río que lo requieren con una prioridad de cumplimiento menor que el abastecimiento urbano, aunque mayor que el suministro para la demanda agraria. En el modelo de AQUATOOL+

se han introducido un total de 29 tramos diferentes con caudales ecológicos. En los caudales ecológicos tampoco se han establecido umbrales de déficit, por lo que, si en un tramo de río con caudal ecológico establecido éste no se cumple, habrá fallo en ese mes.

4.7 Tomas

Las tomas son elementos que abastecen de agua a una demanda. Una demanda se puede abastecer con varias tomas, brindando así flexibilidad para distinguir prioridades en la demanda, aunque el agua proceda del mismo punto, o distinguir entre suministros de distintas subzonas dentro de la zona considerada (Solera Solera, Paredes Arquiola, & Andreu Álvarez, 2015).

4.8 Retornos

Los retornos sirven para indicar dónde se reintegra el agua superficial de las tomas a los ríos. Un retorno puede ser utilizado por varias tomas. En el caso de las demandas urbanas se ha introducido un coeficiente de retorno del 0,8, mientras que el coeficiente de consumo es del 0,2. Para las demandas agrarias el coeficiente de retorno establecido es del 0,8.

4.9 Subsistemas

Como ya se ha detallado en el apartado 2.1.3, tanto las demandas urbanas como las agrarias son considerablemente mayor en las Juntas de la margen izquierda del Ebro. Por lo tanto, a continuación se realiza un análisis más exhaustivo sobre las características principales de las Juntas de Explotación de la margen izquierda.

a) 1. Junta de Explotación. Cabecera y eje del Ebro



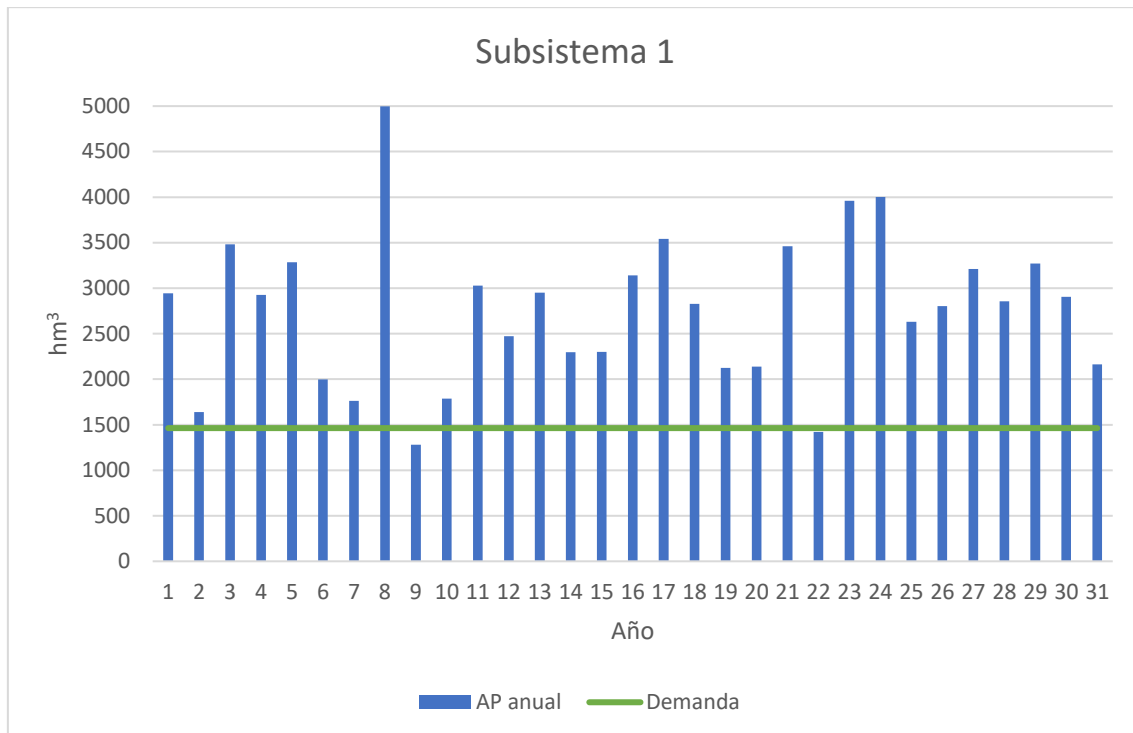
Figura 8: Junta de Explotación nº 1: Cabecera y eje del Ebro

El ámbito territorial ocupa la cuenca del Ebro desde su nacimiento hasta Miranda de Ebro, y el eje del propio Ebro hasta el embalse de Mequinena, donde comienza el subsistema 11. La Junta se extiende por las provincias de Cantabria, Álava, Burgos, La Rioja, Navarra y Zaragoza.

El embalse Ebro, con 540 hm³ de capacidad, y el embalse La Loleta, con 98 hm³, son los únicos embalses de la Junta en cuestión. El embalse Ebro se encuentra en cabecera, próximo al nacimiento del río Ebro, mientras que el embalse La Loleta se encuentra entre las ciudades de Tudela y Zaragoza. En la siguiente tabla vienen recogidos los datos básicos del subsistema.

Aportación	2.803 hm ³
DU	164 hm ³
DA	1.299 hm ³
Embalses	638 hm ³

Tabla 8: Información básica de la Junta nº 1



Gráfica 3: Aportaciones y demanda total anual

Las aportaciones son grandes debido a que el agua proveniente de otras cuencas y que se dirige al propio eje del Ebro se añaden a estas aportaciones. Lo mismo ocurre con las demandas urbanas y agrarias, las demandas que se abastezcan de estas aportaciones vienen introducidas en el subsistema 1.



Figura 9: Aportaciones de cabecera

La figura 9 muestra las aportaciones existentes en cabecera. La porción de aportaciones que se dirige al embalse de Ebro es pequeña ya que se encuentra en cabecera. Por lo tanto, es de esperar que las aportaciones reguladas sean reducidas.

El cauce del río Ebro transcurre por la zona donde se enlazan varios de los subsistemas. Se puede observar que hay varias aportaciones que se dirigen al propio cauce del Ebro, por lo que esas aportaciones se han añadido a la Junta 1.

b) 11. Junta de Explotación: Bajo Ebro



Figura 10: Junta de explotación nº 11: Bajo Ebro

En cuanto al ámbito territorial del subsistema 11, éste comienza en el embalse de Mequinenza y Ribarroja, donde finaliza la Junta número 1, hasta su desembocadura en el Mediterráneo. Gran parte de la extensión corresponde a la provincia de Tarragona, aunque hay pequeñas superficies que se ubican en Lleida, Huesca y Zaragoza.

Los embalses de Mequinenza y Ribarroja son los dos únicos embalses del subsistema, con 1.528 hm³ y 210 hm³ de capacidad, respectivamente. El embalse de Mequinenza es el embalse con mayor capacidad de la Demarcación Hidrográfica del Ebro.

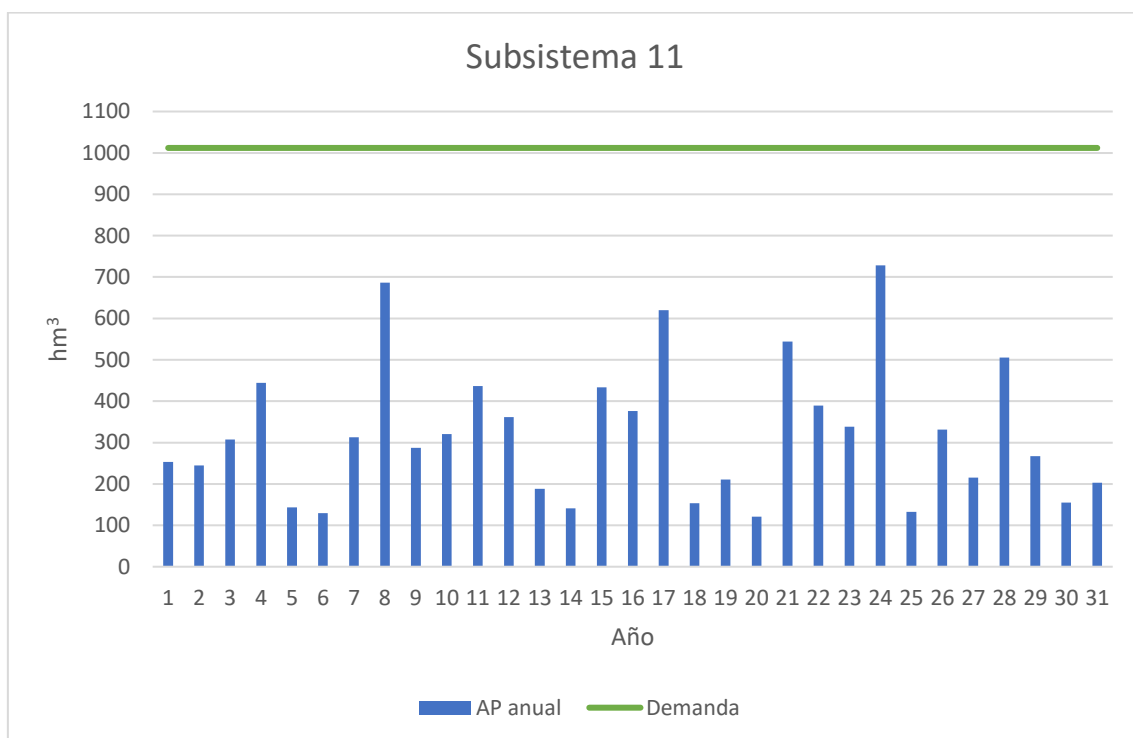
Aportación	322 hm ³
DU	10 hm ³

DX	88 hm ³
DA	914 hm ³
Embalses	1.738 hm ³

Tabla 9: Información básica de la Junta nº 11

En este caso, se puede ver que hay una gran diferencia entre las aportaciones y las demandas. Las demandas son significativamente mayores, lo que da a suponer que habrá grandes déficits. Pero esto no es del todo cierto, ya que en las aportaciones de la tabla anterior no se tiene en cuenta el agua proveniente del propio cauce del Ebro al embalse de Mequinzenza, lo que cambia absolutamente la balanza.

En la junta número 11 cabe destacar que hay un trasvase de volumen considerable a Tarragona, desde los embalses de Mequinzenza y Ribarroja. El volumen medio anual de este trasvase es de 88 hm³, el cual se realiza para fines industriales y abastecimiento urbano.



Gráfica 4: Aportaciones y demanda total anual

c) 12. Junta de Explotación: Segre

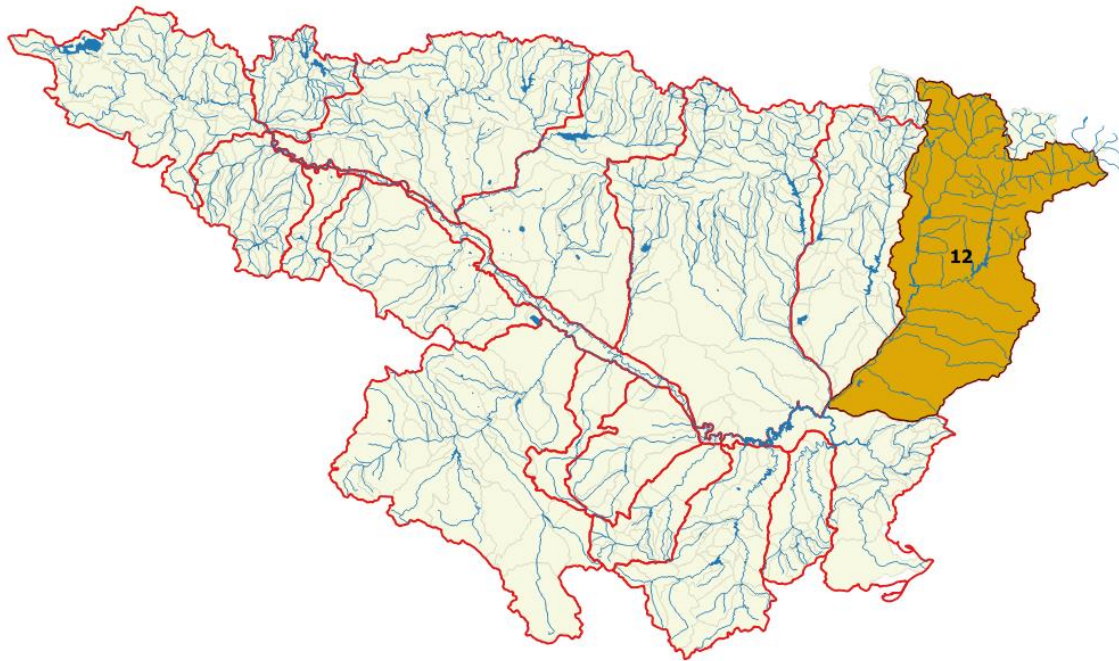


Figura 11: Junta de explotación nº 12: Segre

El ámbito territorial de esta Junta es la cuenca del río Noguera Pallaresa hasta que afluye al río Segre, y el propio Segre por su margen izquierda. Su extensión corresponde principalmente a la provincia de Lleida, aunque también se extiende hasta las provincias de Barcelona, Girona y Zaragoza.

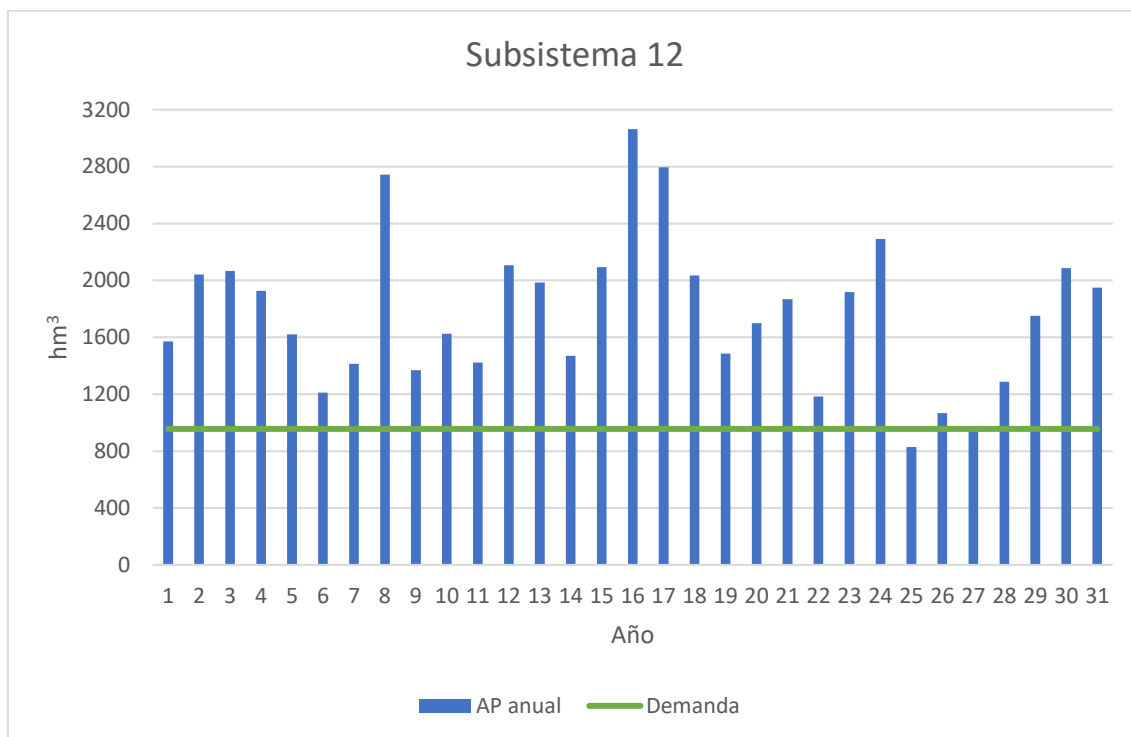
En esta Junta hay un gran número de embalses, los que se han tenido en cuenta son: Camarasa (163 hm³), Talarn (227 hm³) y Terradets (33 hm³) en el río Noguera Pallaresa, y Rialb (402 hm³) y Oliana (101 hm³) en el Segre.

Aportación	1.772 hm ³
DU	37 hm ³
DA	919 hm ³
Embalses	926 hm ³

Tabla 10: Información básica de la Junta nº 12

Los embalses de esta Junta se sitúan en la zona media de la Junta, y estos obtienen todas las aportaciones provenientes de cabecera. Cabe destacar que hay una diferencia considerable entre las aportaciones medias de cabecera respecto a las aportaciones medias cercanas al eje del Ebro, donde las precipitaciones son mucho más escasas. Por lo tanto, todas las aportaciones de cabecera, que es donde más precipitación hay, se

recogen en estos embalses posibilitando así una mayor garantía para el abastecimiento de zonas urbanas y el riego.



Gráfica 5: Aportaciones y demanda total anual

d) 13. Junta de Explotación: Ésera y Noguera Ribagorzana

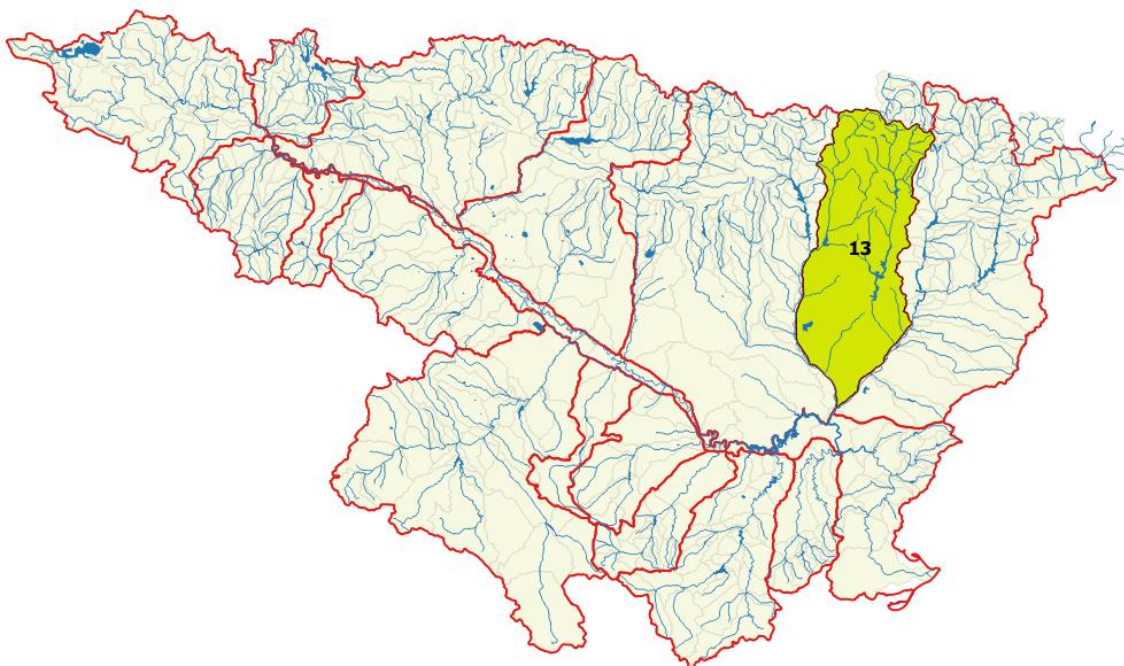


Figura 12: Junta de Explotación nº 13: Ésera y Noguera Ribagorzana

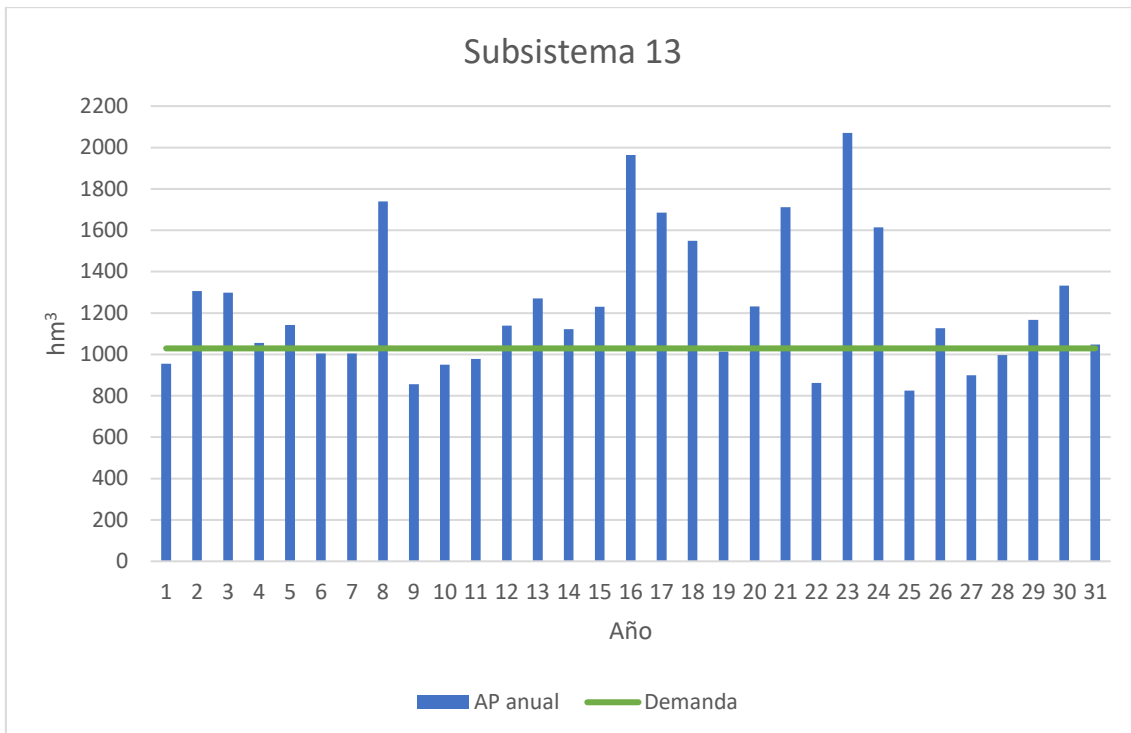
A la Junta de Explotación número 13 pertenecen las cuencas de los ríos Ésera y Noguera Ribagorzana hasta su desembocadura en el río Segre. Corresponde a las provincias de Lleida y Huesca.

En el río Ésera se encuentra el embalse de Barasona, con 85 hm³ de capacidad, y al río Noguera Ribagorzana pertenecen los embalses Canelles (679 hm³), Escales (152 hm³) y Santa Ana (237 hm³).

Aportación	1.230 hm ³
DU	40 hm ³
DA	989 hm ³
Embalses	1.153 hm ³

Tabla 11: Información básica de la Junta nº 13

Todas las aportaciones de esta Junta son reguladas, ya que se dirigen a los embalses del subsistema mencionados. Las aportaciones existentes aguas abajo de estos embalses se dirigen al propio río Ebro, por lo que se encuentran añadidas a la Junta de explotación número 1. Si se observa la tabla, a simple vista se puede ver que no hay mucha diferencia entre la aportación media de la Junta y la demanda, por lo que es muy posible que haya déficit en los periodos con mayor estrés hídrico, sobre todo para la demanda agraria.



Gráfica 6: Aportaciones y demanda total anual

En la gráfica superior se observa la evolución las aportaciones respecto a la demanda, donde se pone de manifiesto los años en los que es posible que no se pueda garantizar el suministro.

e) 14. Junta de Explotación: Cuencas del Gállego y Cinca

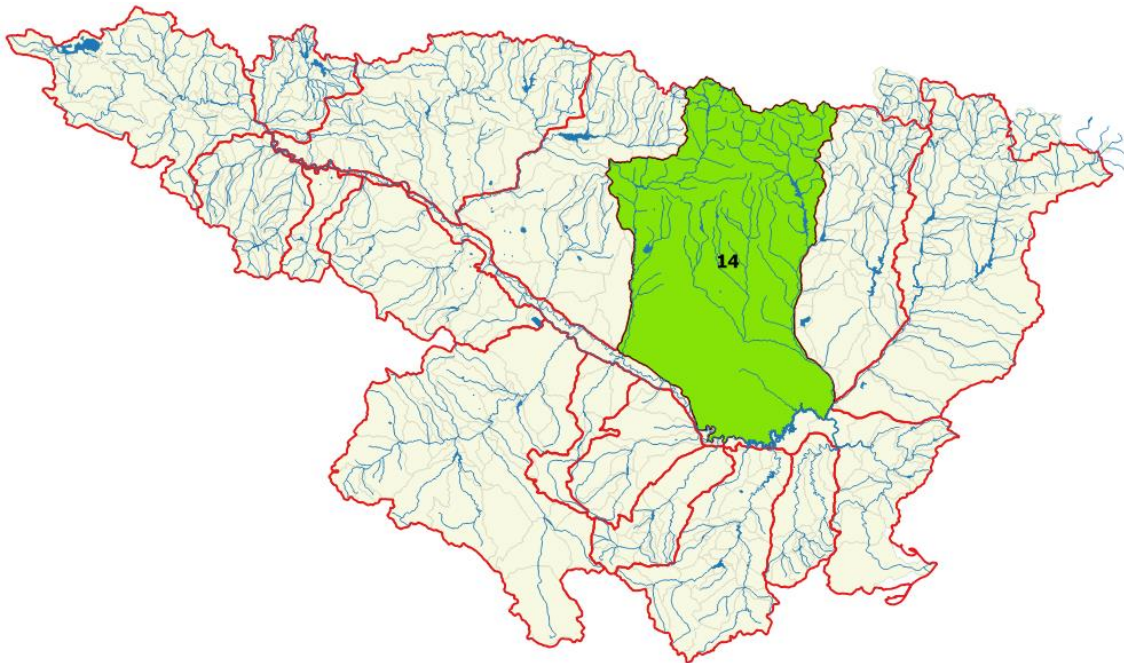


Figura 13: Junta de explotación nº 14: Cuencas del Gállego y Cinca

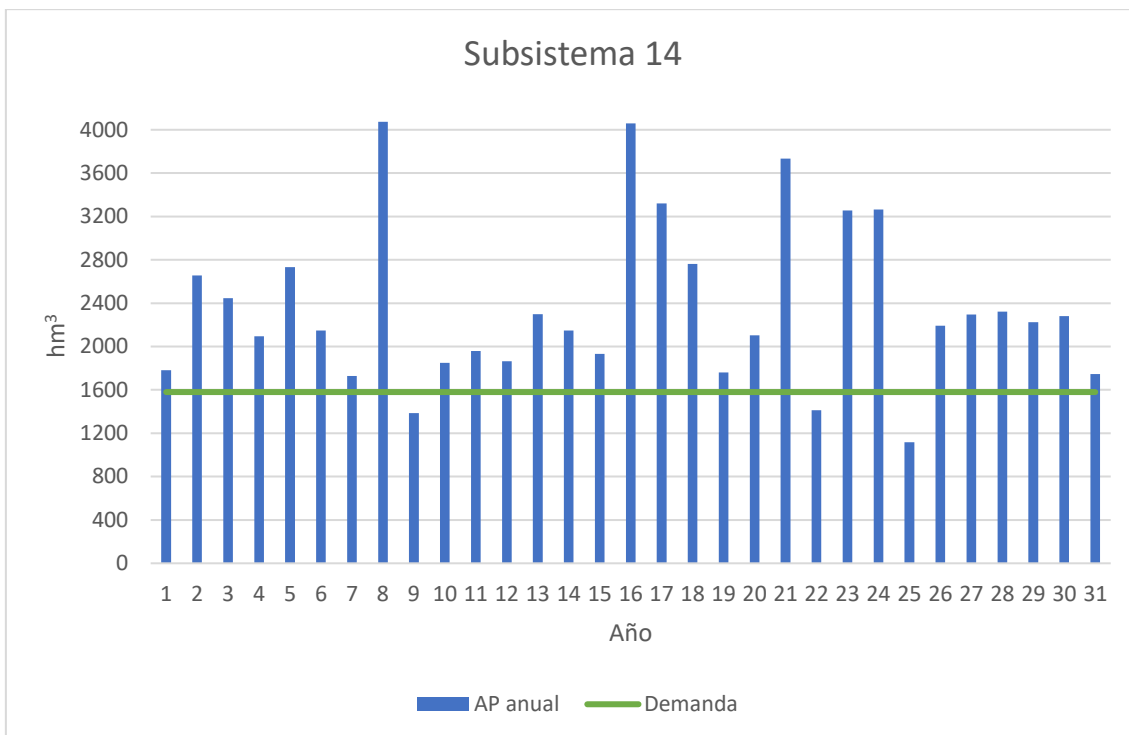
El ámbito territorial de la Junta número 14 la completan los ríos Gállego por su margen izquierda, Alcandre y Cinca, y corresponde a las provincias de Huesca y Zaragoza. Se trata de la Junta de Explotación más extensa de la DHE.

Los embalses principales de la margen izquierda del Gállego son La Sotonera (189 hm³) y Búbal (63 hm³). El embalse con mayor capacidad en el río Alcandre es el Vadiello, con un volumen máximo de 16 hm³. En cambio, los embalses con mayor capacidad de la Junta en cuestión se encuentran en el río Cinca, y son El Grado (400 hm³) y Mediano (435 hm³).

Aportación	2343 hm ³
DU	27 hm ³
DA	1543 hm ³
Embalses	1120 hm ³

Tabla 12: Información básica de la Junta nº 14

Se trata de la Junta de Explotación con mayor demanda agraria y la segunda con mayores aportaciones de toda la Cuenca del Ebro. Por lo tanto, la gran magnitud de demanda se ve compensada con las considerables aportaciones.



Gráfica 7: Aportaciones y demanda total anual

f) 15. Junta de Explotación: Aragón y Arba

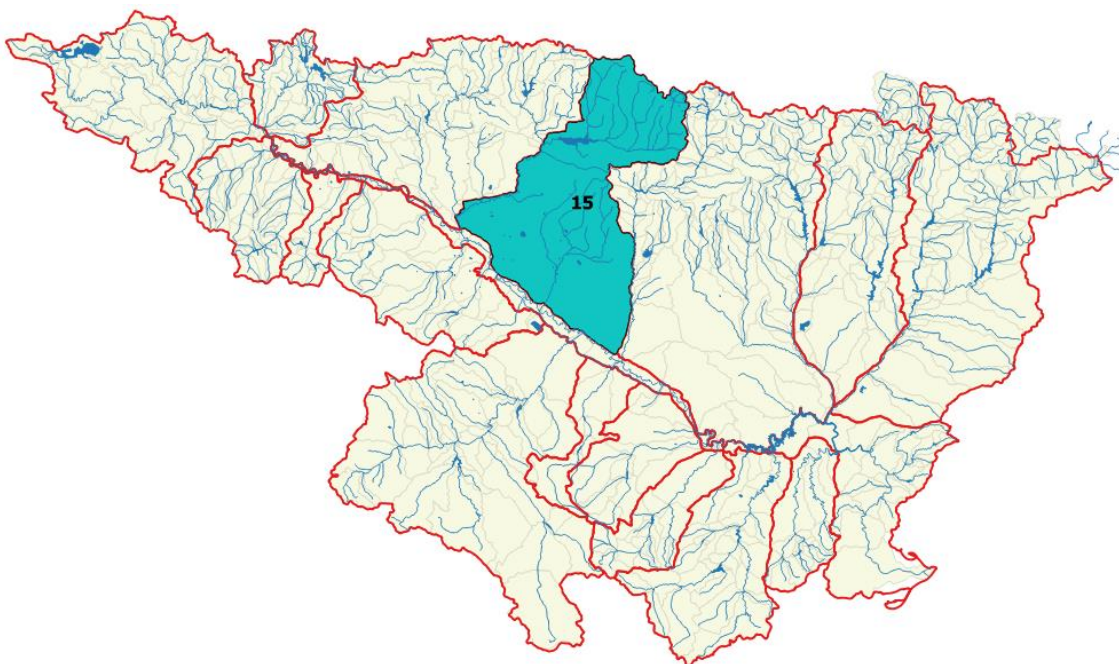


Figura 14: Junta de explotación nº 15: Aragón y Arba

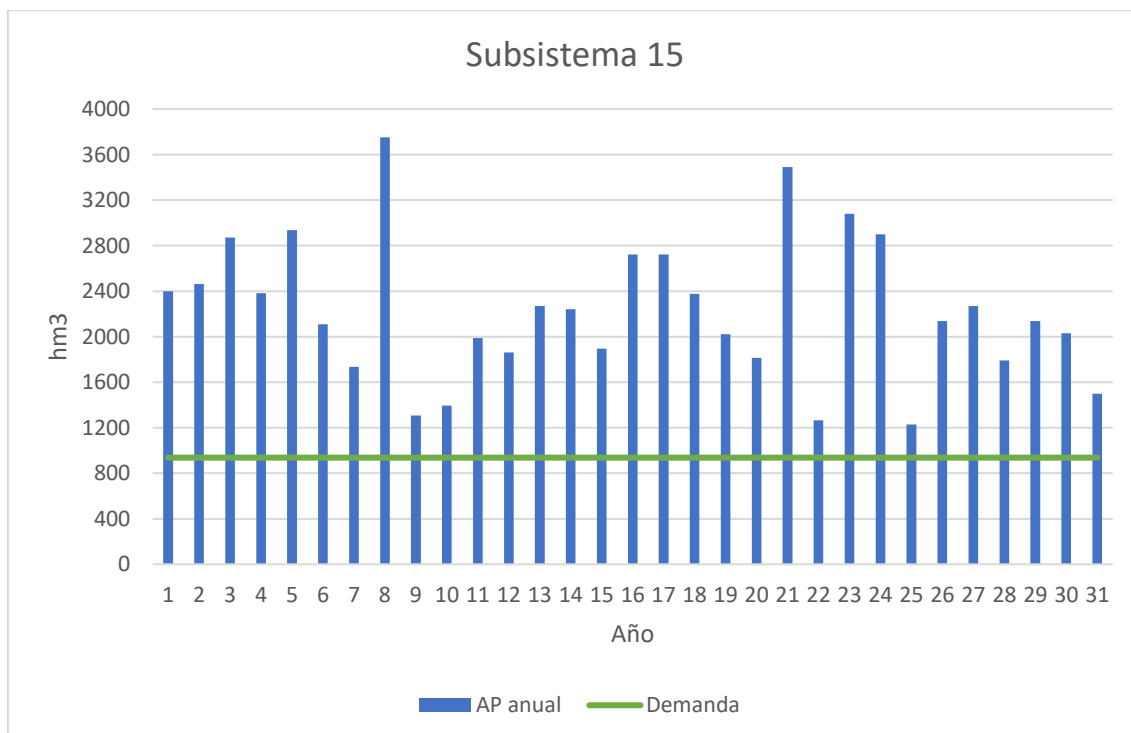
La Junta número 15 lo comprenden los ríos Arba y Aragón, y se sitúa en las provincias de Zaragoza, Huesca y Navarra.

Solamente se ha tenido en cuenta el embalse de Yesa, con 447 hm³ de capacidad y el cual se encuentra en el río Aragón. El resto de embalses no conciernen por su escasa influencia en el subsistema.

Aportación	2.228 hm ³
DU	16 hm ³
DA	921 hm ³
Embalses	447 hm ³

Tabla 13: Información básica de la Junta nº 15

En este caso únicamente se regula el 55% de las aportaciones en embalses. Esto puede suponer un problema a la hora de garantizar los recursos para el riego. Además, como ya se ha mencionado en el apartado 2.1.4 de balance, el propio Plan Hidrológico del Ebro también considera que hay serios déficits para el riego del subsistema 15. Los 450 hm³ de capacidad del embalse de Yesa también pueden resultar escasos frente a las aportaciones existentes, por lo que éste tendrá vertidos en periodos de abundante precipitación en los que se llena.



Gráfica 8: Aportaciones y demanda total anual

g) 16. Junta de Explotación: Irati, Arga y Ega

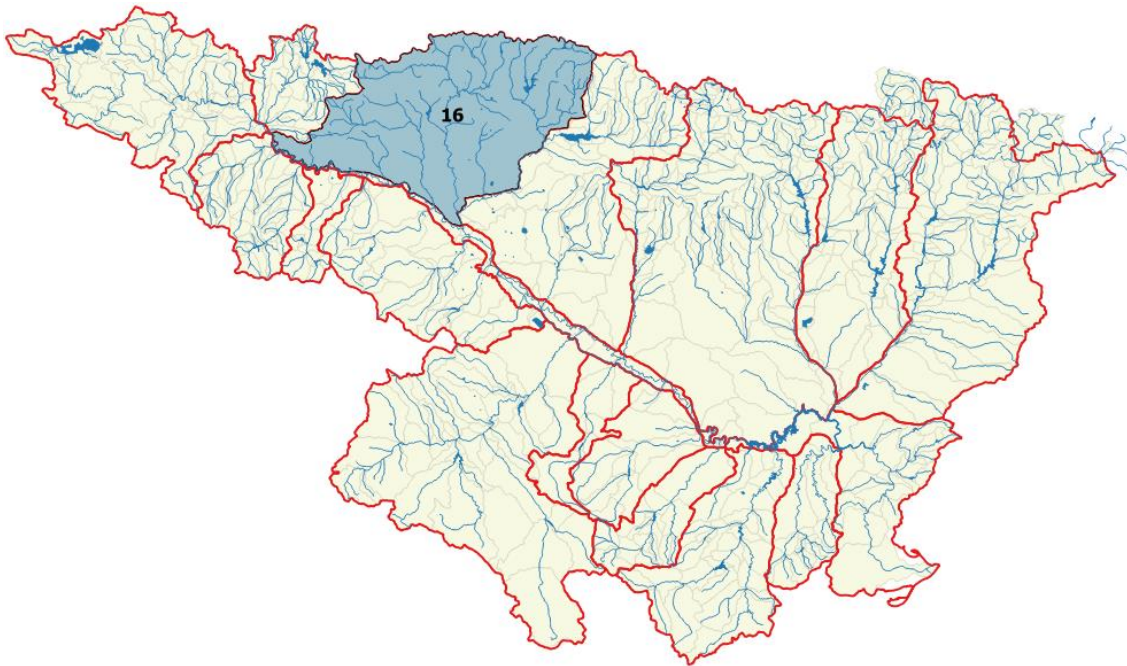


Figura 15: Junta de explotación nº 16: Irati, Arga y Ega

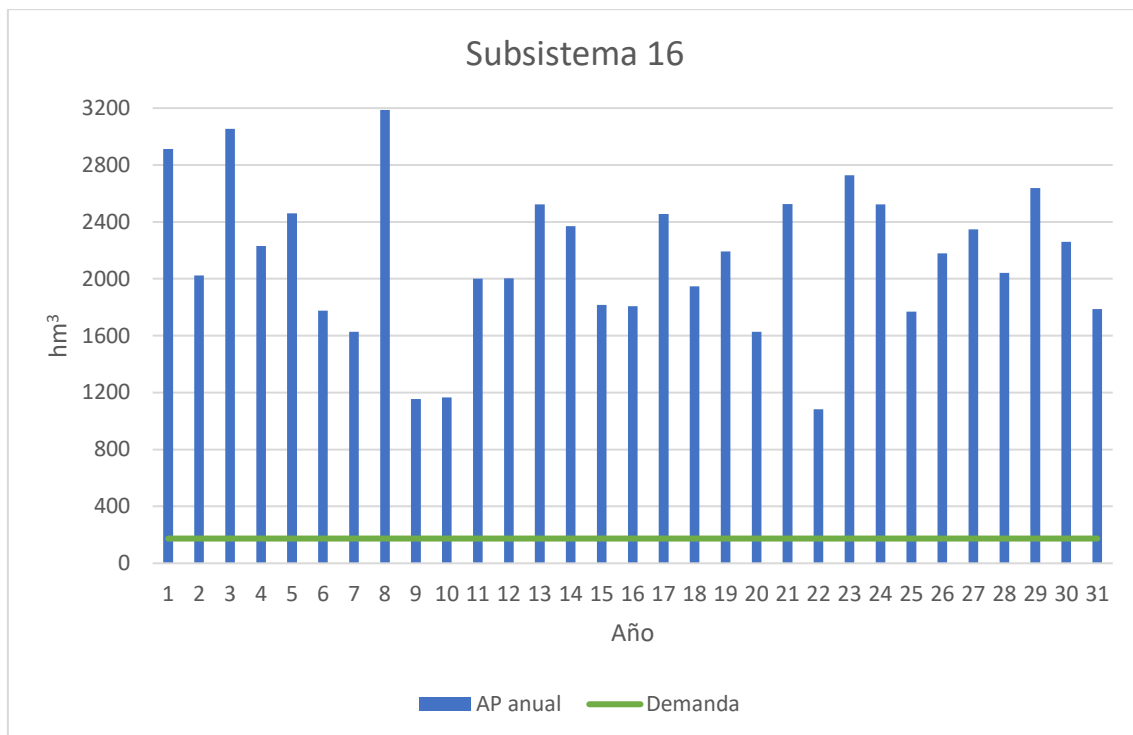
Las cuencas de los ríos que completan el ámbito territorial de la Junta 14 son: Irati, Zidacos, Arga, Ega y Linares. Su extensión corresponde a las Comunidades Autónomas de La Rioja y Navarra y a la provincia de Álava.

Se han considerado tres embalses: Itoiz (417 hm³), Eugui (21 hm³) y Alloz (66 hm³). El primero se encuentra en el río Irati, mientras que Eugui y Alloz en el río Arga.

Aportación	2136 hm ³
DU	66 hm ³
DA	108 hm ³
Embalses	447 hm ³

Tabla 14: Información básica de la Junta nº 16

La aportación es significativa para la cantidad de demanda que hay, aunque cabe destacar que solo se embalsa una pequeña parte de todas las aportaciones a la Junta, por lo que esta circunstancia no le exime de posibles problemas en épocas de sequía.



Gráfica 9: Aportaciones y demandas totales

h) 17. Junta de explotación: Bayas, Zadorra e Inglares.

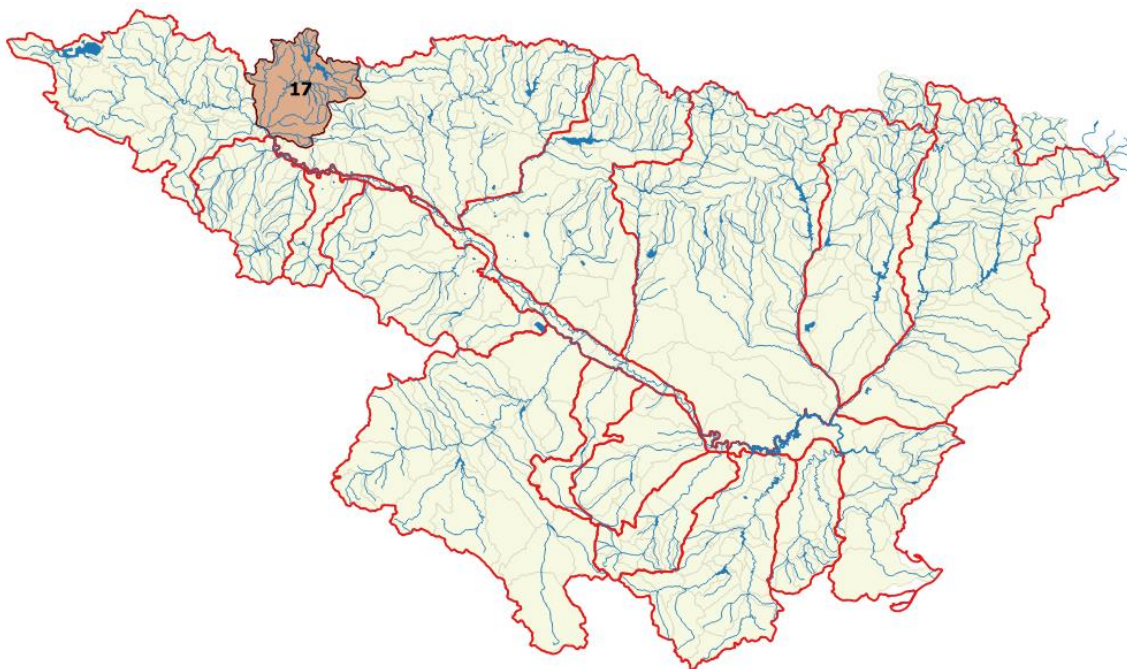


Figura 16: Junta de explotación nº 17: Bayas, Zadorra e Inglares

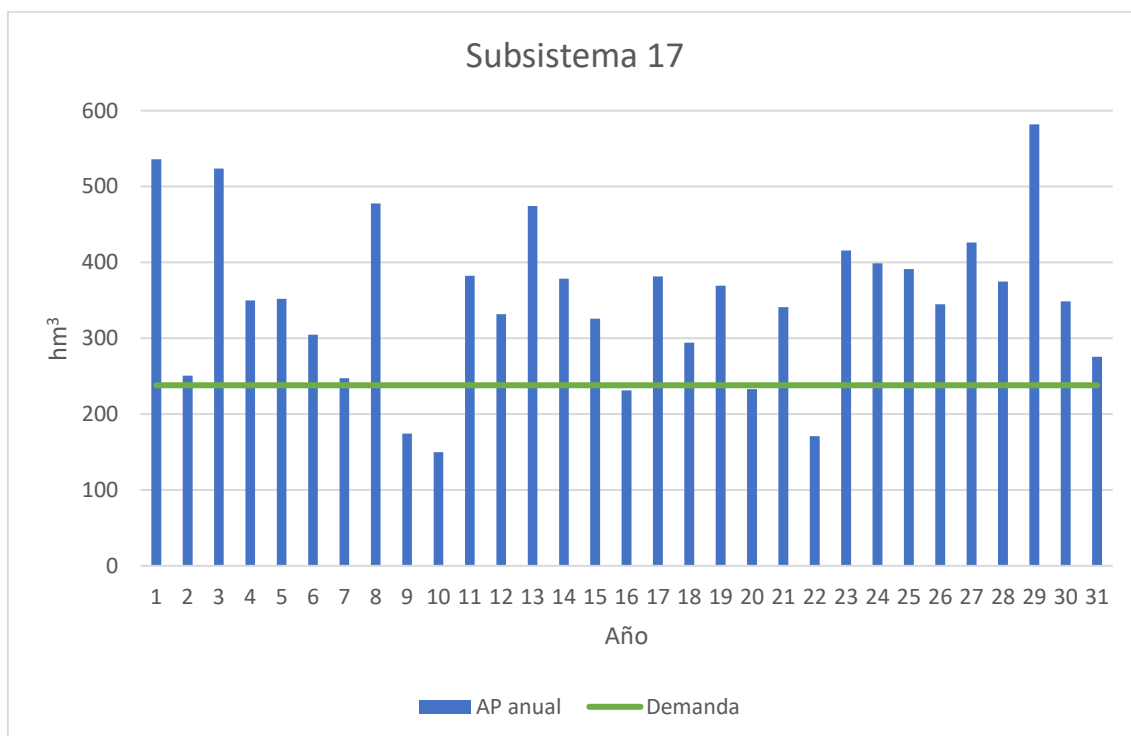
Lo comprenden los ríos Zadorra, Bayas e Inglares y pertenece a las provincias de Burgos, Álava y Vizcaya.

Hay dos embalses considerables, que son Ullivarri (146 hm³) y Urrunaga (72 hm³). A estos se le ha sumado un tercer embalse, Albiña, de 5 hm³ de capacidad, ya que se encuentra cercano a estos. En el modelo de AQUATOOL+ estos embalses se han introducido en un único embalse dada las similares funciones que tienen.

Aportación	350 hm ³
DU	39 hm ³
DX	114 hm ³
DA	85 hm ³
Embalses	223 hm ³

Tabla 15: Información básica de la Junta nº 17

Si bien las aportaciones y la demanda agraria son menores que en las Juntas mencionadas anteriormente, la principal particularidad de la Junta 17 es el gran trasvase que se lleva a cabo a Bilbao, el cual es de 114 hm³. Este gran volumen trasvasado frente a la escasa aportación regulada hace que la presente Junta sea vulnerable a la hora de garantizar estas demandas. Si además se le suma la demanda urbana existente para la ciudad de Vitoria y la demanda agraria, es previsible que el subsistema presentará grandes déficits.



Gráfica 10: Aportaciones y demanda total anual

i) Juntas de Explotación de la margen de derecha del río Ebro:

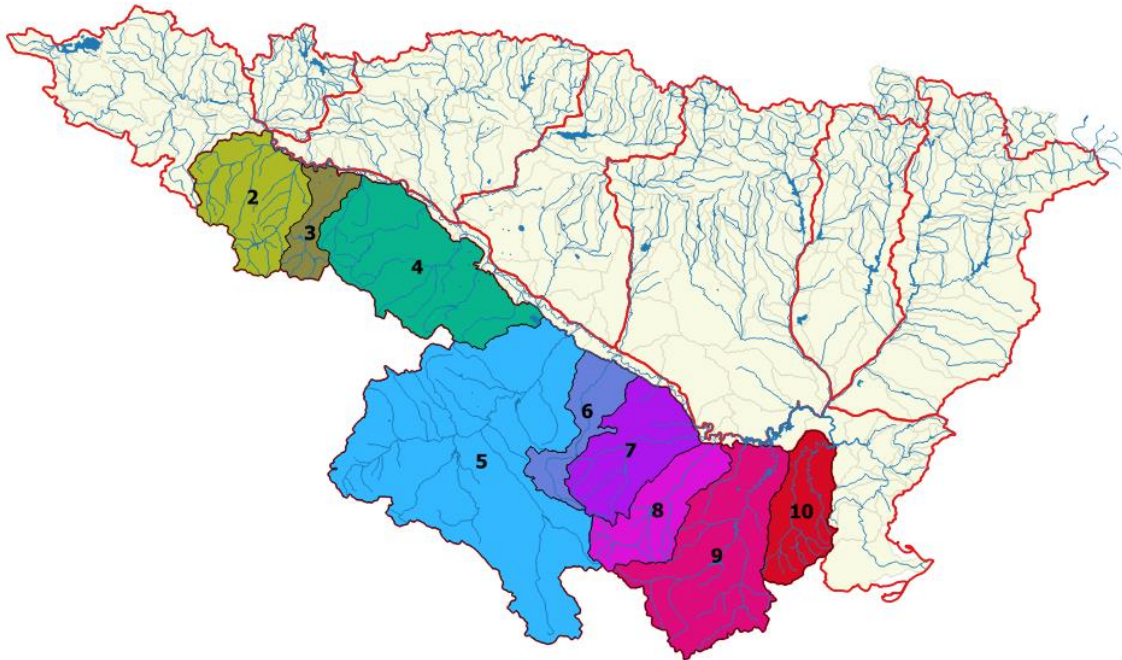


Figura 17: Juntas de explotación de la margen derecha del río Ebro

Como se ha comentado anteriormente, las demandas y aportaciones de las Juntas de Explotación de la margen derecha del río Ebro son significativamente menores, y por ello se dispondrán características a nivel global.

Estas Juntas de la margen derecha van desde Miranda de Ebro, que se encuentra en la provincia de Burgos, hasta los embalses Mequinenza (también denominado Mar de Aragón, y el cual se encuentra en Zaragoza) y Ribarroja (entre Zaragoza y Tarragona). Por lo tanto, recorren varias provincias de distintas Comunidades Autónomas.

Se muestra una tabla mencionando cada uno de los embalses que se han tenido en cuenta en cada Junta de explotación:

Subsistema	Embalse	Capacidad (hm ³)	Río
2	Mansilla	64	Najerilla
3	Pajares	35	Iregua
	González Lacasa	31	
4	Val	24	Queiles
5	La Tranquera	82	Jalón
6	Las Torcas	7	Huerta

7	Moneva	8	Aguas Vivas
8	Cueva Foradada	22	Martín
9	Calanda	52	Guadalope
	Caspe	78	
	Santolea	51	
10	Pena	18	Matarraña

Tabla 16: Embalses de las Juntas de Explotación de la margen derecha del río Ebro

Cabe destacar que las Juntas de Explotación 6 y 7 se han incluido en la Junta 8, mientras que al embalse de Cueva Foradada se le han añadido las capacidades de los embalses Las Torcas y Moneva.

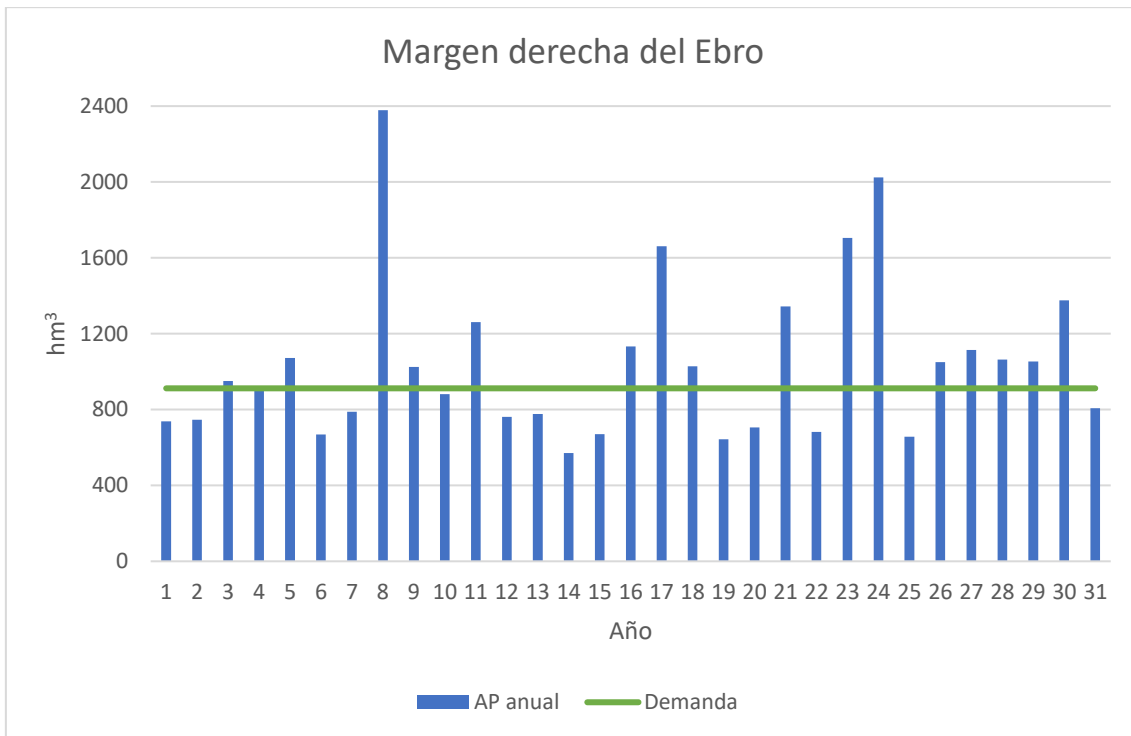
En la siguiente tabla se recogen las principales características de las Juntas a nivel global:

Aportación	999 hm ³
DU	81 hm ³
DA	831 hm ³
Embalses	476 hm ³

Tabla 17: Información básica de las Juntas de la margen derecha

Teniendo en cuenta que se han recogido los datos de varias Juntas a nivel global, queda patente que las Juntas de la margen derecha son menos trascendentales que los de la margen izquierda. A pesar de ello, cabe mencionar que estos subsistemas presentan mayores déficits, ya que, dada la escasa precipitación que hay en la depresión del Ebro y la parte inferior a éste, las aportaciones son muy reducidas.

La evolución de las aportaciones anuales se detalla en la siguiente gráfica.



Gráfica 11: Aportaciones, aportaciones reguladas y demanda total anual

Antes esta situación, queda de manifiesto que las demandas, y, sobre todo las agrarias, presentarán fallos en los periodos de sequía y con menores aportaciones.

5. Simulación y resultados

Una vez que se han introducido toda la información y datos necesarios del sistema en AQUATOOL+ se ha proseguido a realizar la simulación del modelo. Cabe mencionar que para la simulación se han establecido diferentes niveles de prioridad entre la demanda urbana y la agraria, siendo las urbanas de mayor importancia. Tras la simulación, lo primero que se ha hecho es ver cómo funciona el abastecimiento a la demanda urbana. Para ello se han inspeccionado los resultados de todas las demandas urbanas de cada subsistema, observando si hay meses en los que hay fallo. En la tabla inferior se recogen aquellas unidades de demanda urbana en las que hay meses con fallo.

Unidad de Demanda	Subsistema	Nº de fallos mensuales
Alcandre Medio Bajo	14	241
Tirón – Najerilla	2	163
Bayas - Zadorra – Inglares	17	94
E. Ebro	1	81

Iregua	3	81
Rudrón - Oca – Jerea	1	68
Trueba Alto	1	65
Nela	1	61
Ega	16	40
Alhama - Cidacos – Linares	4	8
Segre Alto - C. Urgell	2	4

Tabla 18: Fallos mensuales de la demanda urbana

El periodo de simulación es de 31 años, lo que supone un total de 372 meses de simulación. Por lo tanto, en la tabla anterior se puede observar que ciertas unidades de demanda sufren déficits en un gran número de meses. Esta situación es totalmente insostenible ya que gran parte de la población se quedaría sin agua constantemente.

5.1 Incorporación de la gestión

Ante la situación anteriormente mencionada, se ha considerado necesario crear curvas de reserva en los embalses para poder realizar una mejor gestión de los recursos hídricos y poder reducir los déficits en la demanda urbana.

Para realizar esta tarea es necesario tener claro el funcionamiento de AQUATOOL+ respecto a los embalses. En AQUATOOL+ vienen preestablecidos diferentes niveles de volumen, como se puede ver en la siguiente figura.

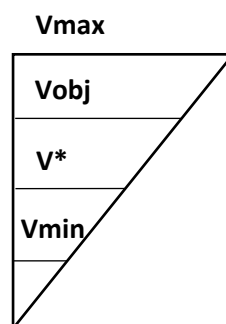


Figura 18: Niveles de volumen de embalses (Andreu Álvarez, Solera Solera, Capilla Romá, & Ferrer Polo, 2015)

En los embalses habrá vertidos cuando el agua embalsada supera el volumen máximo del embalse. Esta capacidad máxima suele ser variable mensualmente para poder definir resguardos frente a avenidas.

La gestión de los embalses de la cuenca se realiza de forma que se mantengan todos ellos en la medida de lo posible dentro de una misma zona de llenado. Las zonas de llenado de los embalses son las siguientes:

- Zona superior: entre V_{max} y V_{obj}
- Zona intermedia: entre V_{obj} y V^*
- Zona inferior: entre V^* y V_{min}
- Zona de reserva: V_{min} y embalse vacío

Estos niveles sirven para gestionar las demandas y los propios embalses. De esta forma, el modelo no utilizará agua de la zona intermedia de un embalse hasta que no haya agotado el agua de la zona superior de todos los demás. Cuando el volumen de dos embalses se encuentra en la misma zona, entra el concepto de “número de prioridad de almacenamiento” (N_p) de un embalse, y el modelo utilizará el agua del embalse que tenga un número de prioridad de almacenamiento más alto (Andreu Álvarez, Solera Solera, Capilla Romá, & Ferrer Polo, 2015).

El concepto de volumen mínimo sirve para establecer reservas de agua en los embalses. Esto se realiza tanto para poder tener siempre cierta cantidad de agua almacenada en el embalse como para poder utilizar el agua reservada para asuntos de gran importancia.

En un principio, en el modelo no se han establecido volúmenes mínimos para los embalses. Es por ello que varios embalses llegaban a vaciarse sin poder abastecer a la población durante largos periodos de tiempo. Para evitar esta situación, se han establecido volúmenes mínimos en los embalses posibilitando que la demanda urbana pueda captar agua por debajo de los niveles establecidos.

Embalse	V_{min} (hm ³)	V_{obj} (hm ³)
EM_E01_E. Ebro	22	22
EM_E02_E. Mansilla	30	30
EM_E03_E. Pajares - González Lacasa	7	7
EM_E04_E. Val	2	2
EM_E08_E. Cueva Foradada	3	3
EM_E14_E. Vadiello	6	6

EM_E17_E. Ullivarri - Urrunaga - Albiña	48	48
---	----	----

Tabla 19: Volúmenes mínimo y objetivo establecidos en los embalses

Otro aspecto importante del modelo es que, por defecto, las demandas no tienen la prioridad suficiente para poder utilizar los recursos hídricos que se encuentran por debajo del volumen mínimo. Para poder solucionar el problema de abastecimiento a la demanda urbana se les ha asignado una mayor prioridad a las demandas urbanas con el fin de poder coger agua por debajo del volumen mínimo. Los tramos de río con caudal ecológico y las demandas agrarias, en cambio, no pueden captar el agua reservada de los embalses.

Así pues, se han realizado nuevas simulaciones y en la siguiente tabla se pueden observar las mejoras obtenidas en el suministro a la demanda urbana:

Unidad de Demanda	Nº fallos antes	Nº fallos después
Alcandre Medio Bajo	241	77
Tirón - Najerilla	163	0
Bayas - Zadorra - Inglares	94	0
E. Ebro	81	9
Iregua	81	0
Rudrón - Oca - Jerea	68	25
Trueba Alto	65	9
Nela	61	9
Ega	40	40
Alhama - Cidacos - Linares	8	0
Segre Alto - C. Urgell	4	4

Tabla 20: Mejoría de fallos mensuales de la demanda urbana tras la calibración

Tras la calibración del modelo se observa que el número de meses con déficit baja considerablemente, permaneciendo en un rango aceptable algunas de las demandas. Aun así, sigue habiendo ciertas unidades de demanda con un número de fallos excesivo.

6. Cálculo de Índices de Sostenibilidad

En el presente apartado se lleva a cabo el principal objetivo de este trabajo, que es el cálculo de los Índices de Sostenibilidad de la demandas urbanas y agrarias y los caudales ecológicos para las diferentes Juntas de Explotación.

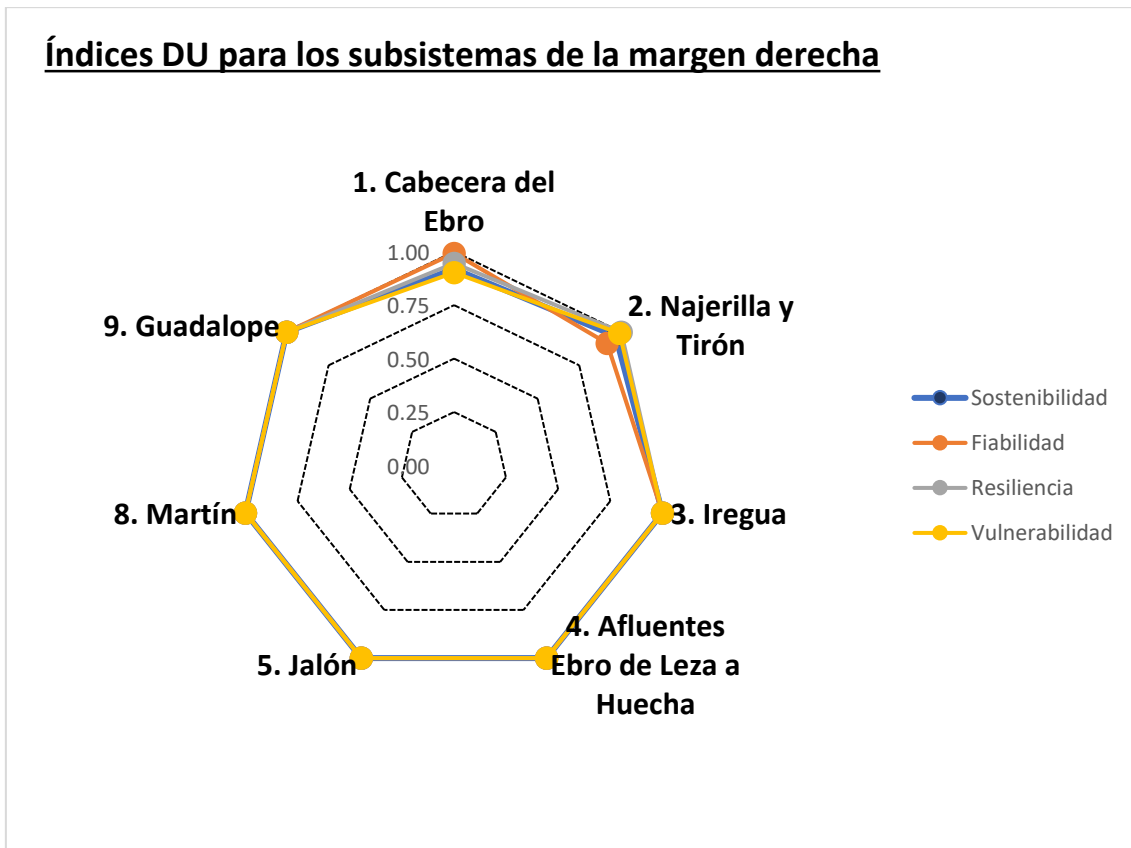
6.1 Índices de demanda urbana

El abastecimiento de agua potable es de vital importancia, y es necesario poder garantizarlo incluso en periodos de sequía. Es por ello que la demanda urbana es el componente de mayor prioridad en el modelo elaborado en AQUATOOL+. Al tener designada mayor prioridad se destinarán más recursos para su abastecimiento, por lo que lo lógico es que disponga de menores déficits.

A la hora de contemplar si hay fallos en los meses de estudio se ha actuado de manera estricta, y no se han establecido umbrales de fallo. Es decir, si en un mes hay déficit por no poder garantizar el suministro de cierta demanda, en ese mes se considera que hay fallo por pequeño que sea este déficit. Teniendo esto en cuenta y una vez obtenidos los déficits de cada demanda mediante el modelo de AQUATOOL+, se han obtenido los Índices de Sostenibilidad haciendo uso del software MATLAB.

Antes de analizar los resultados, cabe mencionar que con el fin de que las gráficas sean lo más representativas posible, los índices de vulnerabilidad que se muestran en ellas en realidad son la inversa a la vulnerabilidad, ya que los índices de vulnerabilidad son más satisfactorios cuanto más tiendan a 0, y peores cuanto más se aproximen a 1.

A continuación, se muestran los resultados obtenidos por subsistemas:

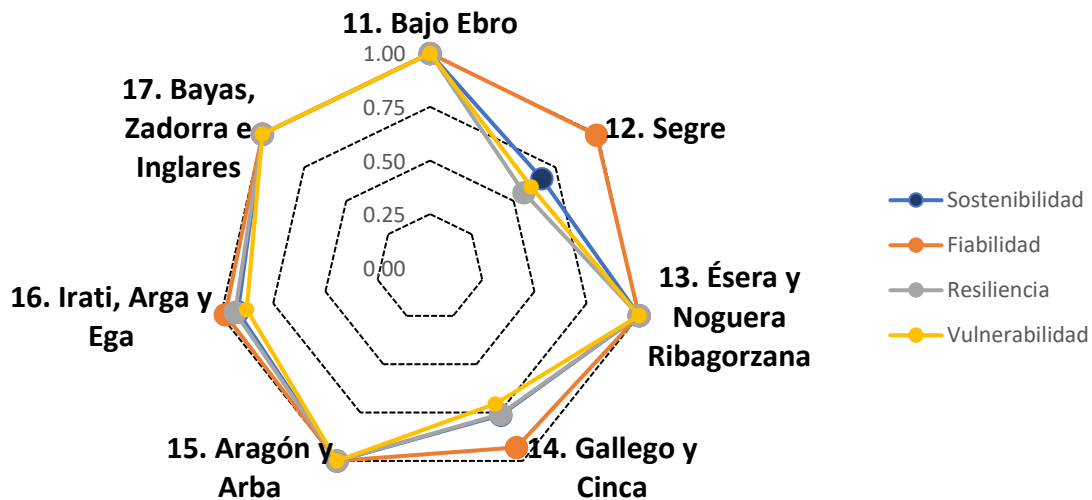


Gráfica 12: Resultados de Índices de Sostenibilidad para la DU de las Juntas de la margen derecha

Como se observa en la gráfica anterior, los índices de demanda urbana para la margen derecha del Ebro son realmente buenos, apenas hay fallos considerables. La línea naranja muestra la fiabilidad de los subsistemas, el cual es prácticamente igual a 1 en todos ellos. Esto quiere decir que apenas hay meses con fallos en los subsistemas para el periodo de análisis. La resiliencia también es prácticamente igual a 1, lo que implica que los pocos meses de fallo que hay están separados entre sí, lo que resulta satisfactorio para el sistema. En cuanto a la vulnerabilidad, éste tiene cierta influencia en el subsistema 1, ya que, si bien su valor es aproximado al 1, el índice en cuestión es algo más deficiente que en los casos anteriores, lo que supone que el impacto del déficit en los meses con fallo es ligeramente más influyente, pero sin ser nada grave.

En definitiva, se puede manifestar que los Índices de Sostenibilidad para la demanda urbana de la margen derecha son apropiados.

Índices DU para los subsistemas de la margen izquierda

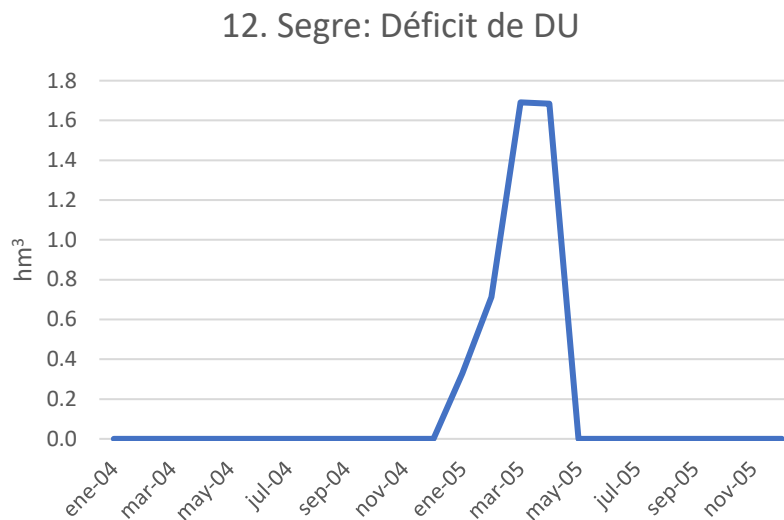


Gráfica 13: Resultados de Índices de Sostenibilidad para la DU de las Juntas de la margen izquierda

La situación es diferente para las Juntas de Explotación de la margen izquierda del Ebro. Hay pocos meses con fallo ya que la fiabilidad es buena, pero en el caso de las Juntas 12 y 14 estos meses de fallo son prolongados y el déficit existente en estos meses es considerable, lo que conlleva a tener unos índices de resiliencia y vulnerabilidad más deficientes, influyendo también en un índice de sostenibilidad más bajo.

Por lo tanto, los índices de la demanda urbana de la margen izquierda son algo inferiores que los de la margen derecha. Esto se debe a que, a pesar de que las aportaciones son significativamente mayores en la margen izquierda, hay muchas más unidades de demanda y de mayor magnitud, y el cumplimiento de todas ellas resulta más complicado. Cabe destacar que el análisis de índices que se está realizando es a nivel global, y tiene en cuenta la garantía de todas las demandas de cada Junta. Por lo tanto, si una de estas unidades falla, la Junta de Explotación entera se verá perjudicada a nivel global. En cambio, en las Juntas de la margen derecha hay muy pocas unidades de demanda, y éstas, por lo general, parten de embalses los cuales garantizan su suministro.

A continuación, se muestra un gráfico de la unidad de demanda que falla en la Junta de Explotación 12 con el objetivo de entender mejor esta situación.



Gráfica 14: Déficit de la DU del Segre

El gráfico muestra el déficit existente en la unidad de demanda fallida de la Junta número 12. Únicamente se muestra un periodo de dos años (2004 y 2005) de los 31 años simulados, ya que es el periodo donde se concentran los déficits. Se puede observar como el déficit es considerable y además prolongado, ya que se junta en alrededor de 5 meses, por lo que de esta situación se revela la baja vulnerabilidad y resiliencia del subsistema.

También se ha utilizado el software QGIS para representar los valores de cada índice en cada subsistema por colores. Este proceso se ha realizado para los índices de demanda urbana, demanda agraria y caudales ecológicos.

Los mapas que muestran los índices de sostenibilidad para la demanda urbana son los siguientes:

- Índice de Fiabilidad para la demanda urbana

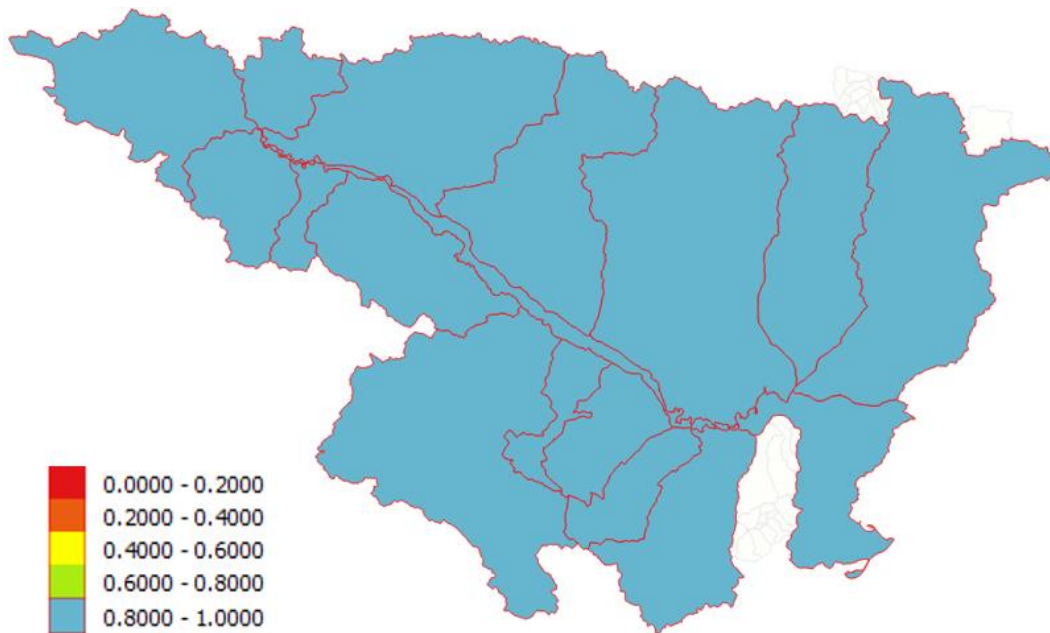


Figura 19: Índice de Fiabilidad de la DU

En este mapa se observa que la fiabilidad tanto de las Juntas de Explotación de la margen izquierda como las de la margen derecha es realmente buena, rondando valores entre 0.8 y 1. No viene introducida la fiabilidad del subsistema 10 ya que en el modelo no existe demandas urbanas.

- Índice de Resiliencia para la demanda urbana

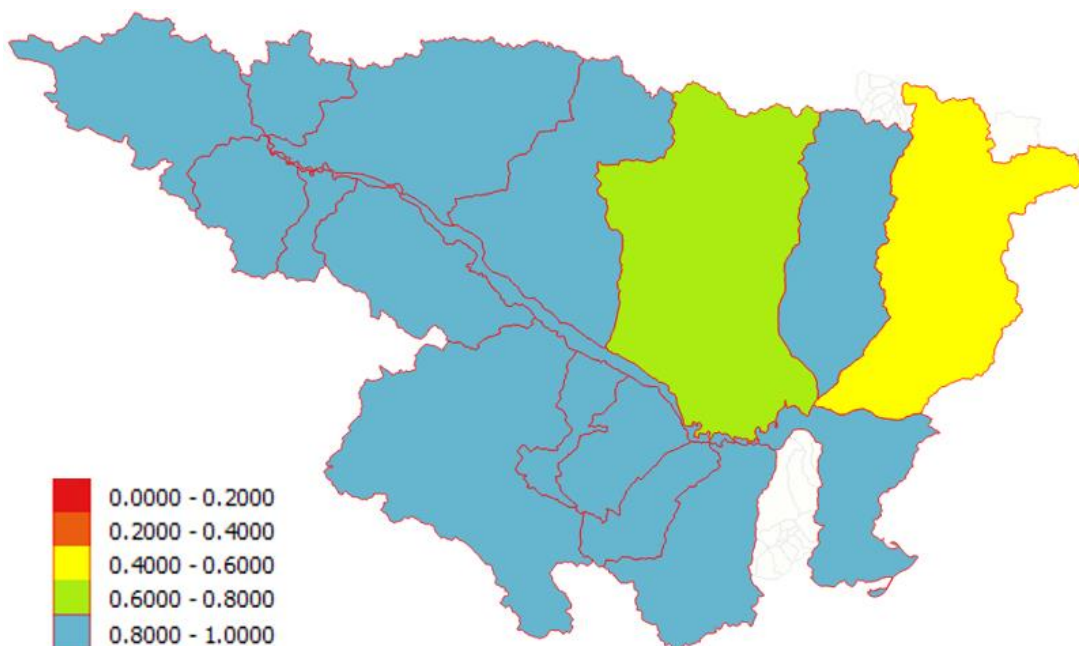


Figura 20: Índice de Resiliencia de la DU

Tal y como se ha detallado en las gráficas anteriores, en la margen derecha del Ebro no hay problemas de resiliencia, aunque en la margen izquierda hay dos Juntas de Explotación con índices de resiliencia relativamente bajos. Esto se debe a que hay una unidad de demanda con meses con fallo prolongados en ambas Juntas.

- Índice de Vulnerabilidad para la demanda urbana

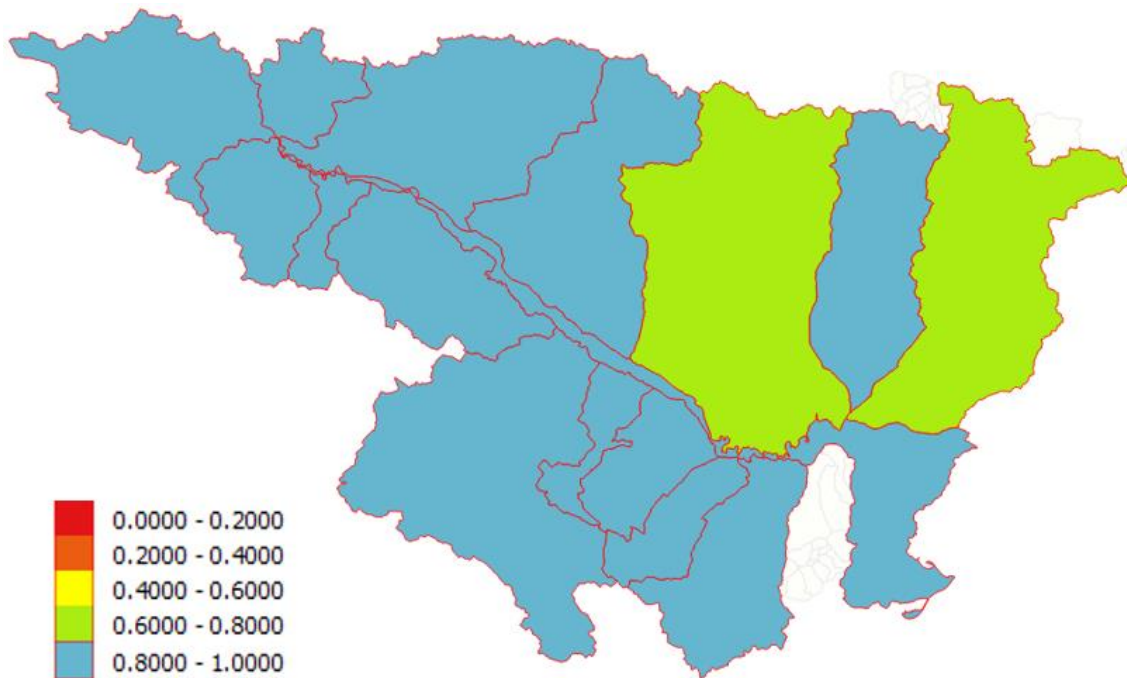


Figura 21: Índice de Vulnerabilidad de la DU

La vulnerabilidad tampoco es todo lo deseable para los subsistemas 12 y 14. El déficit existente en las unidades de demanda con fallo es significativo respecto a la propia demanda que debiera ser abastecida, lo que conlleva a índices de vulnerabilidad más bajos.

- Índice de Sostenibilidad para la demanda urbana

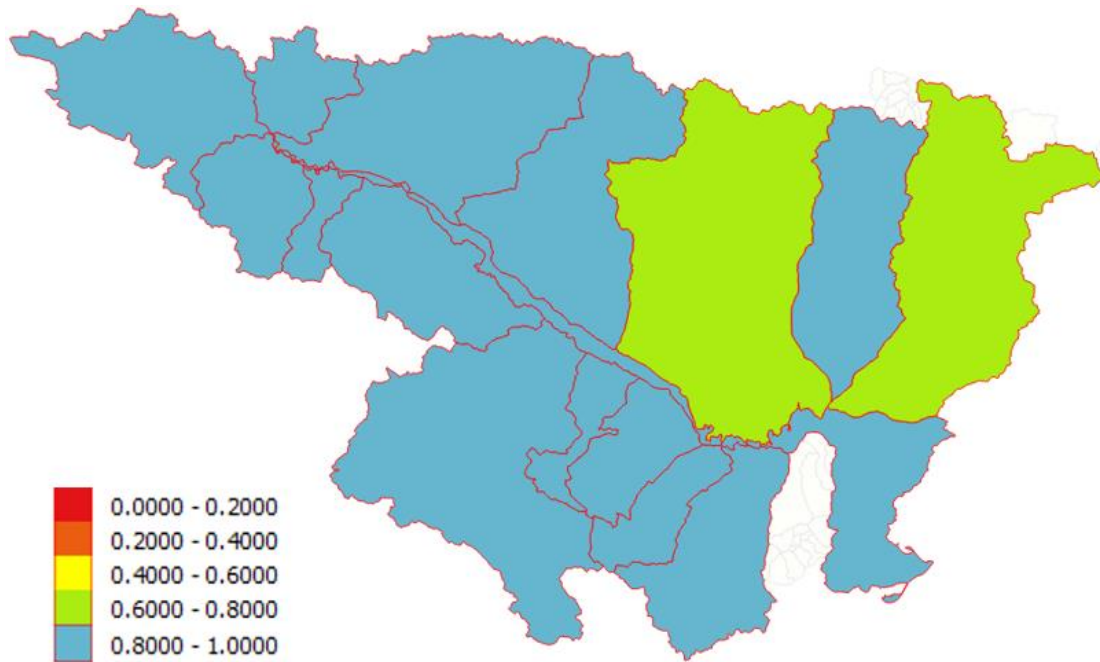


Figura 22: Índice de Sostenibilidad de la DU

Considerando que el índice de sostenibilidad relaciona la fiabilidad, resiliencia y vulnerabilidad, los subsistemas 12 y 14 resultan ser más deficientes.

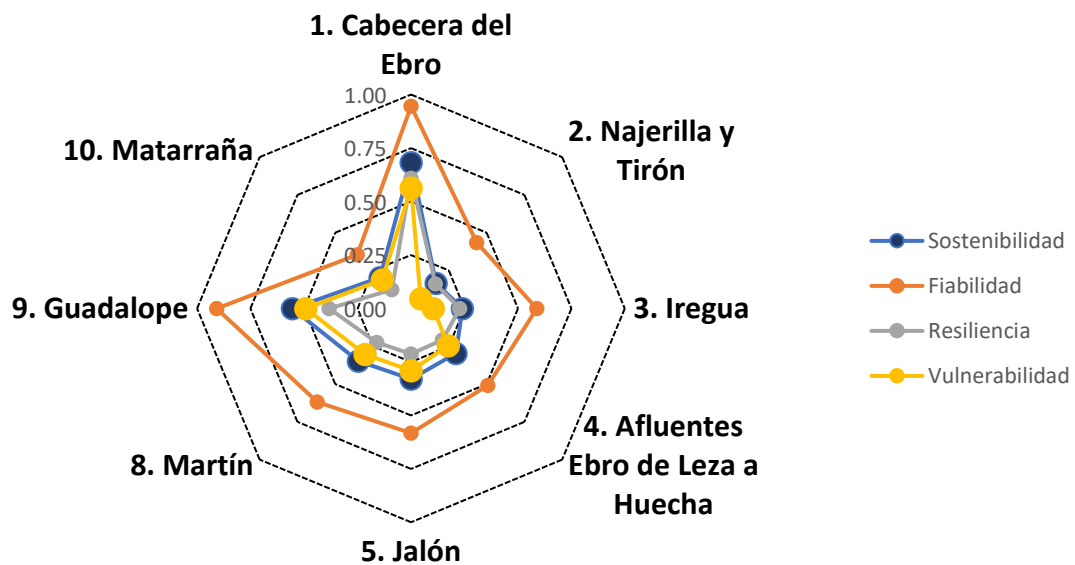
6.2 Índices de demanda agraria

Como ya se ha detallado anteriormente, la demanda agraria es considerablemente mayor que el resto de las demandas. En cuanto a la prioridad en cambio, se le ha asignado una menor prioridad que a la demanda urbana y el caudal ecológico, por lo que es más propensa a que se le suministren menos recursos que lo demandado en periodos de sequía. Por lo tanto, al ser una demanda considerablemente mayor y al disponer de una prioridad más baja se pronostican mayores déficits en las simulaciones.

Al igual que en la demanda urbana, en la demanda agraria tampoco se han establecido valores umbral de déficit, por lo que un mes sufrirá fallo y no se suministra el volumen de agua demandado en su totalidad.

Teniendo todo esto en cuenta, se han obtenido los Índices de Sostenibilidad mediante MATLAB.

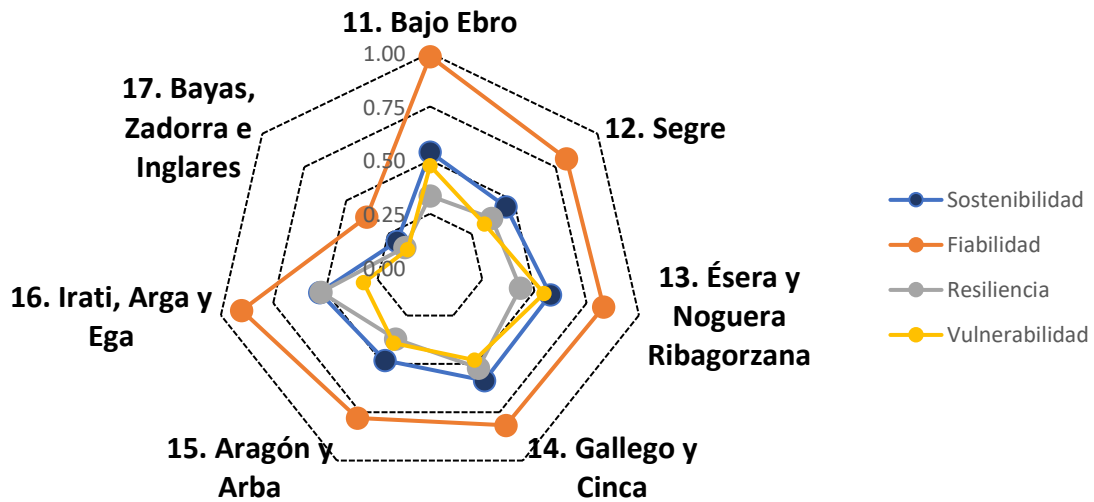
Índices DA para subsistemas de la margen derecha



Gráfica 15: Resultados de Índices de Sostenibilidad para la DA de las Juntas de la margen derecha

En el gráfico anterior se detallan los resultados de los índices para la demanda agraria de la margen derecha del Ebro. Si bien es cierto que la cantidad de meses con fallo es significativa ya que la fiabilidad para la mayoría de las Juntas es bastante baja, lo más destacable son los bajos índices de vulnerabilidad y resiliencia. Esto supone que los meses con fallo son muy prolongados y el déficit de éstos es desmesurado. Por lo tanto, el suministro a la demanda agraria estará sometido a grandes problemas.

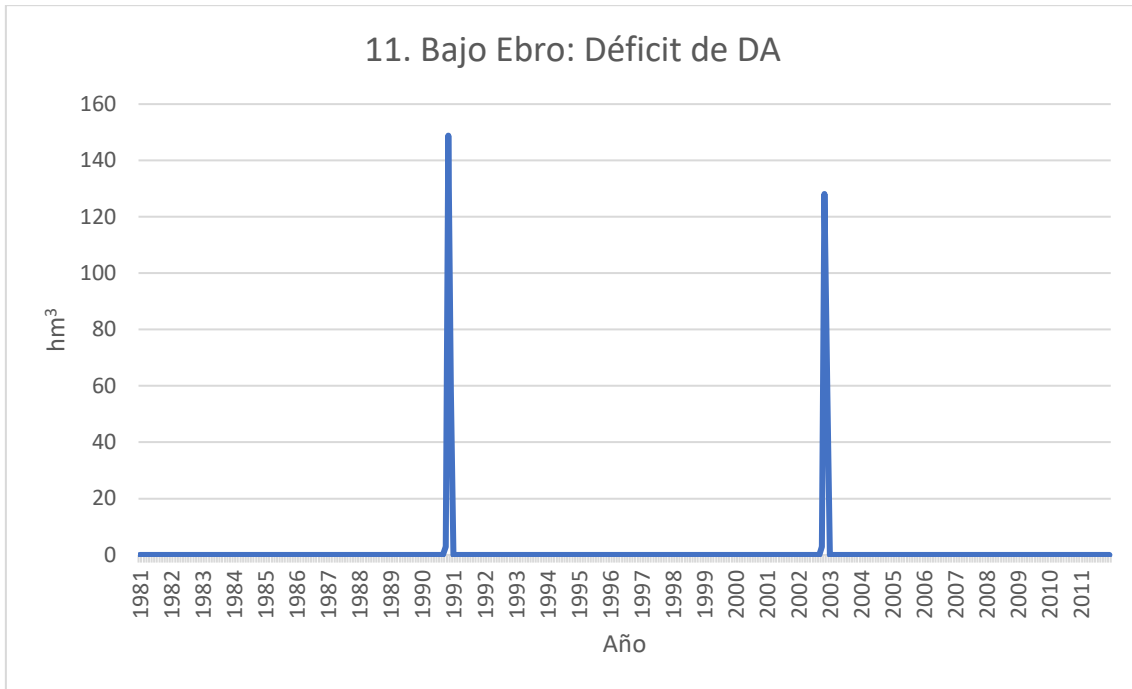
Índices DA para subsistemas de la margen izquierda



Gráfica 16: Resultados de Índices de Sostenibilidad para la DA de las Juntas de la margen izquierda

Si se contempla el gráfico anterior, para los subsistemas de la margen derecha del Ebro el problema es menos grave ya que las aportaciones son mayores que en las Juntas de la margen derecha. Aun así, la vulnerabilidad y la resiliencia siguen siendo muy bajas contribuyendo a índices de sostenibilidad deficientes.

A pesar de no ser la Junta con índices más bajos, se analiza lo que ocurre en la Junta 11 que corresponde al Delta del Ebro.



Gráfica 17: Déficit de la DA de Bajo Ebro

La gráfica anterior muestra el déficit existente en la Junta 11 para el periodo de simulación. Se puede observar que el número de meses con fallo es realmente bajo, de ahí que la demanda agraria del subsistema 11 tenga buena fiabilidad. A pesar de tener pocos meses de déficit, estos meses están juntos entre sí, lo que respalda la baja resiliencia que muestra la gráfica 16 para la DA de la Junta 11. La vulnerabilidad por su parte también tiende a ser baja por la magnitud del déficit que ocurre en estos meses de fallo. Asimismo, la baja resiliencia y vulnerabilidad contribuye a que el índice de sostenibilidad no sea todo lo deseable.

Al igual que para el caso de la demanda urbana, se han representado los resultados de los índices de sostenibilidad de la demanda agraria en mapas de colores, con el software QGIS.

- Índice de Fiabilidad para la demanda agraria

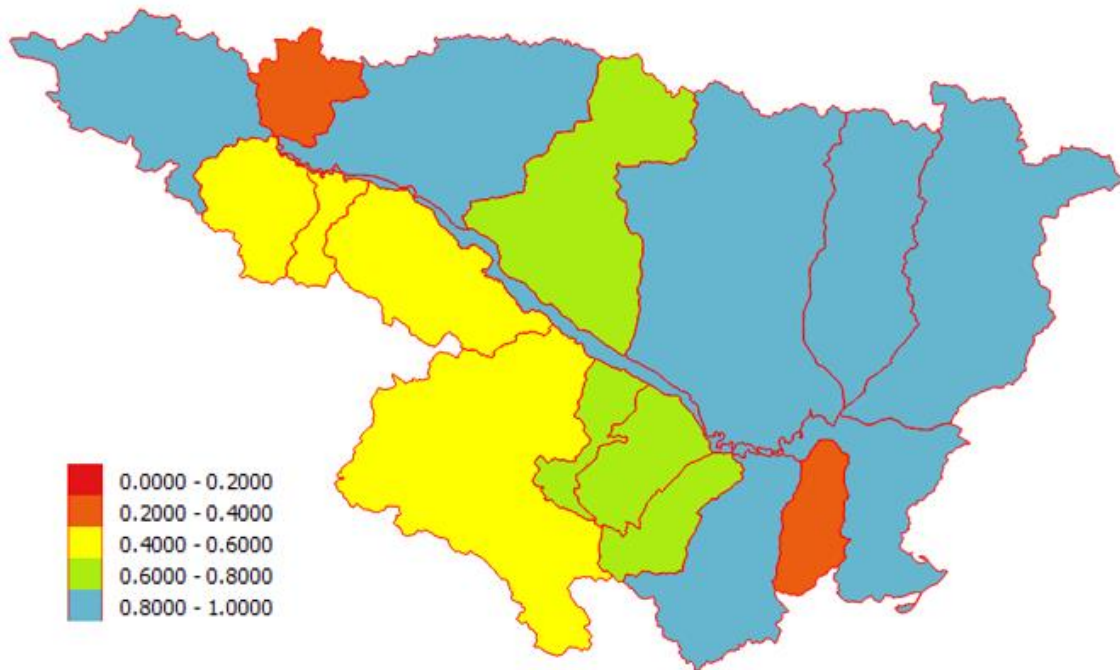


Figura 23: Índice de Fiabilidad de la DA

Los índices de fiabilidad son relativamente adecuados para las Juntas de Explotación de la margen izquierda del Ebro, no así para los subsistemas de la margen derecha. Esto se debe principalmente a que las aportaciones de las Juntas de la margen derecha del Ebro son muy escasas, provocando que haya varios meses de déficit. Por otro lado, el subsistema de la margen derecha que posee una gran cantidad de meses con fallo es el 17, donde se encuentra el gran trasvase a Bilbao y la cual crea grandes problemas a la hora de poder suministrar los recursos.

- Índice de Resiliencia para la demanda agraria

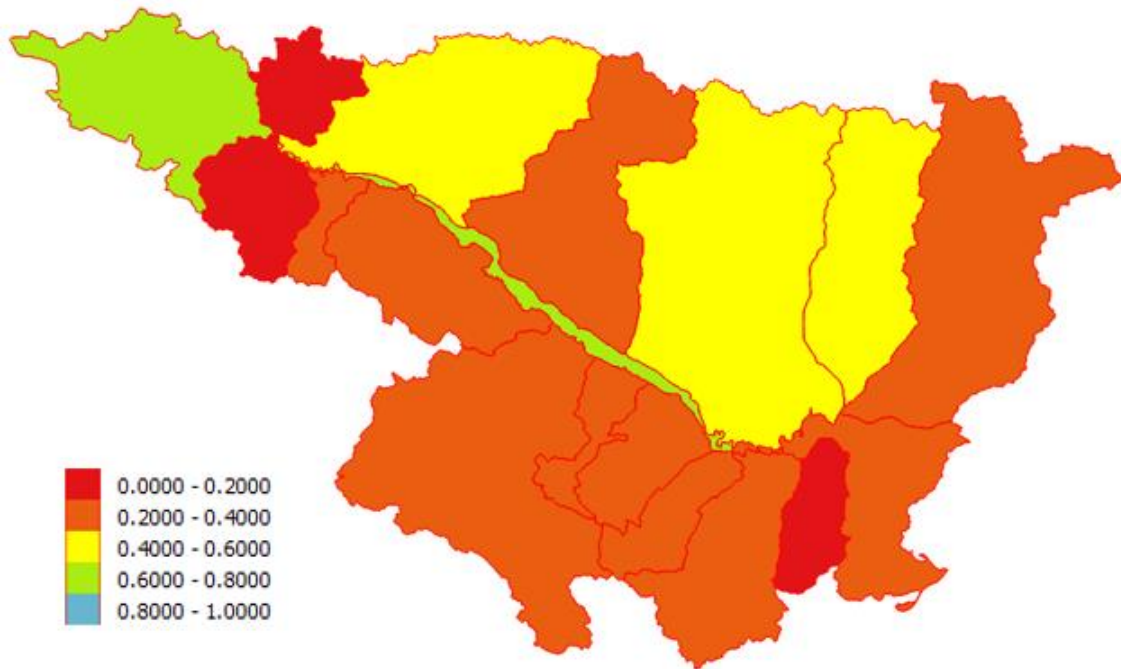


Figura 24: Índice de Resiliencia de la DA

A excepción de la Junta de cabecera del Ebro, el resto presentan índices de resiliencia muy bajos, sobre todo las Juntas de la margen derecha. Los meses de fallo tienden a estar muy juntos entre sí perjudicando gravemente en su capacidad de suministro.

- Índice de Vulnerabilidad para la demanda agraria

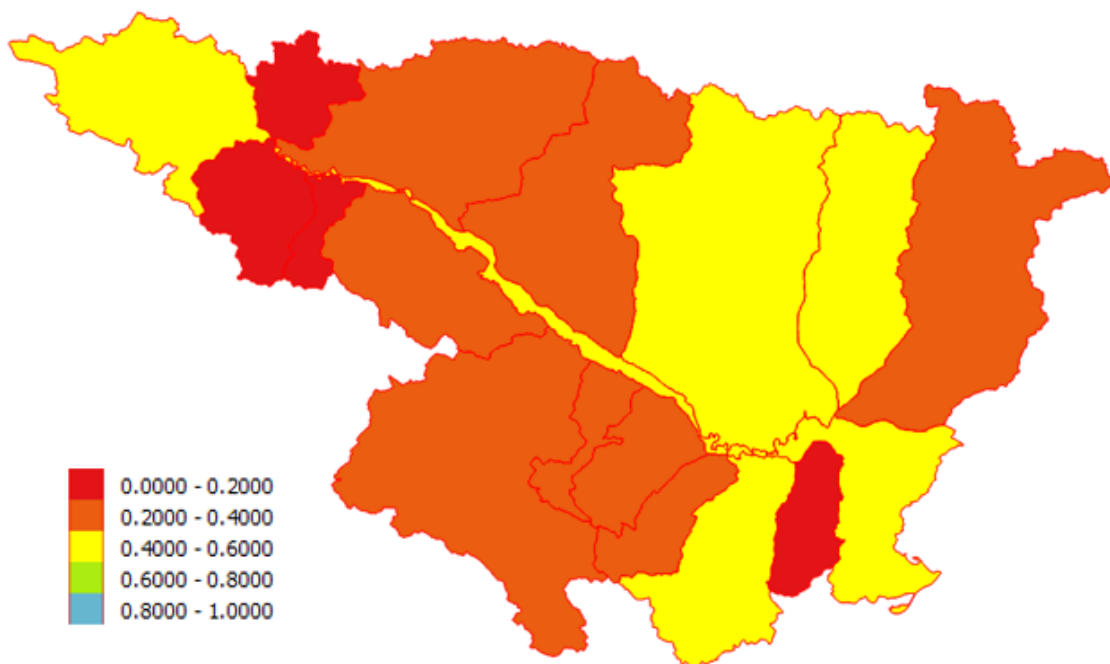


Figura 25: Índice de Vulnerabilidad de la DA

El impacto que tienen los déficits en los meses de fallo también es de gran magnitud. Los índices de vulnerabilidad son muy bajos tanto para las Juntas de la margen derecha como de la izquierda. Por lo tanto, los recursos destinados para el riego sufrirán severas restricciones.

- Índice de Sostenibilidad para la demanda agraria

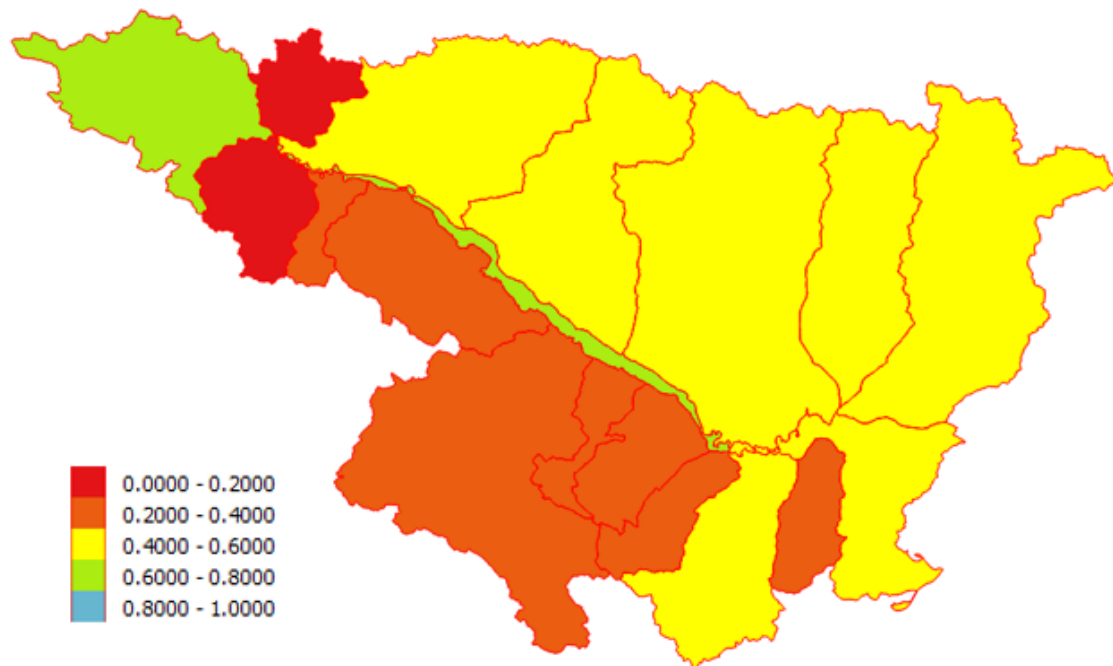


Figura 26: Índice de Sostenibilidad de la DA

A pesar de que la cantidad de meses con fallo no es muy alta (sobre todo en las Juntas de la margen izquierda), los bajos índices de resiliencia y vulnerabilidad contribuyen a que los índices de sostenibilidad sean deficientes. Una vez más queda reflejado el impacto de las escasas precipitaciones sobre las Juntas de la margen derecha.

También cabe destacar, que, como ya se ha expuesto en apartados anteriores, es más trascendental el correcto funcionamiento de las Juntas de Explotación de la margen izquierda por la magnitud de sus demandas.

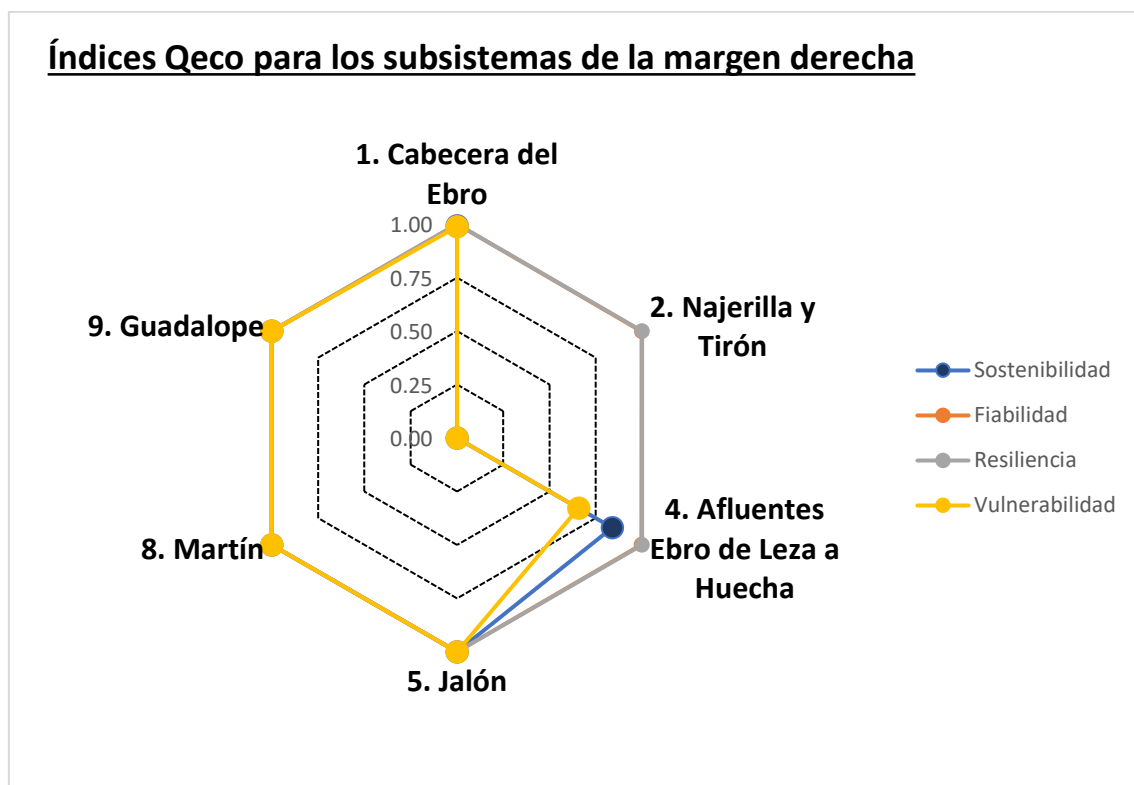
6.3 Índices de caudales ecológicos

En la Demarcación Hidrográfica del Ebro hay numerosos tramos de río en los que hay que asegurar un cierto caudal ecológico. Por ello, se han obtenido resultados de índices de sostenibilidad para cada caudal ecológico. Los caudales ecológicos se han introducido

en el modelo de AQUATOOL+ con una mayor prioridad que la demanda agraria, pero menor prioridad que la demanda urbana.

Para la obtención de los índices se han utilizado caudales de referencia. Se ha denominado caudal de referencia al caudal mínimo entre el caudal ecológico impuesto y el caudal que circularía por ese tramo de río en régimen natural. Por ello, se han hecho simulaciones del modelo en régimen natural, excluyendo todas las demandas y embalses existentes en el sistema. Después se han obtenido los caudales circulantes por los tramos en los que se requiere caudal ecológico y se ha establecido como referencia el mínimo entre el caudal ecológico establecido y el caudal que circula en régimen natural ese mismo mes. Por lo tanto, en un mes hay fallo si el caudal que circula en cierto tramo de río es menor al caudal de referencia establecido.

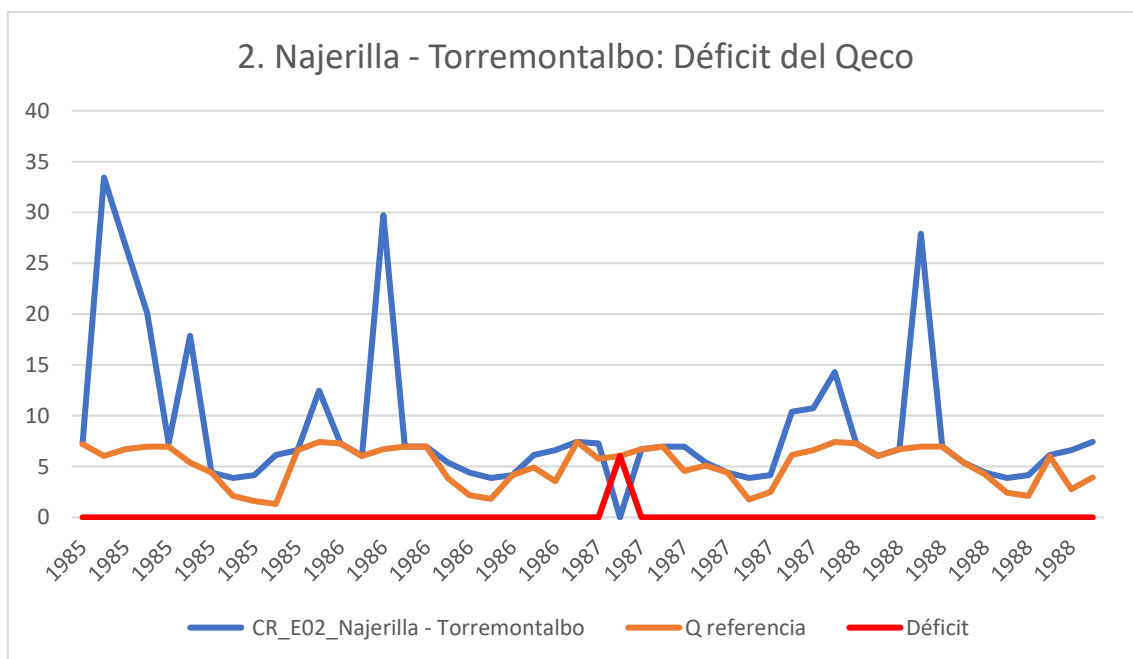
Una vez que se han fijado los caudales de referencia se han obtenido los Índices de Sostenibilidad para todos los caudales ecológicos, y estos se han agrupado por subsistemas.



Gráfica 18: Resultados de Índices de Sostenibilidad para el Qeco de las Juntas de la margen derecha

En la gráfica anterior se muestran los Índices de Sostenibilidad para los subsistemas de la margen derecha del Ebro con conducciones con caudales ecológicos establecidos. Cabe destacar que para los subsistemas 3 y 10 no viene determinado ningún caudal ecológico.

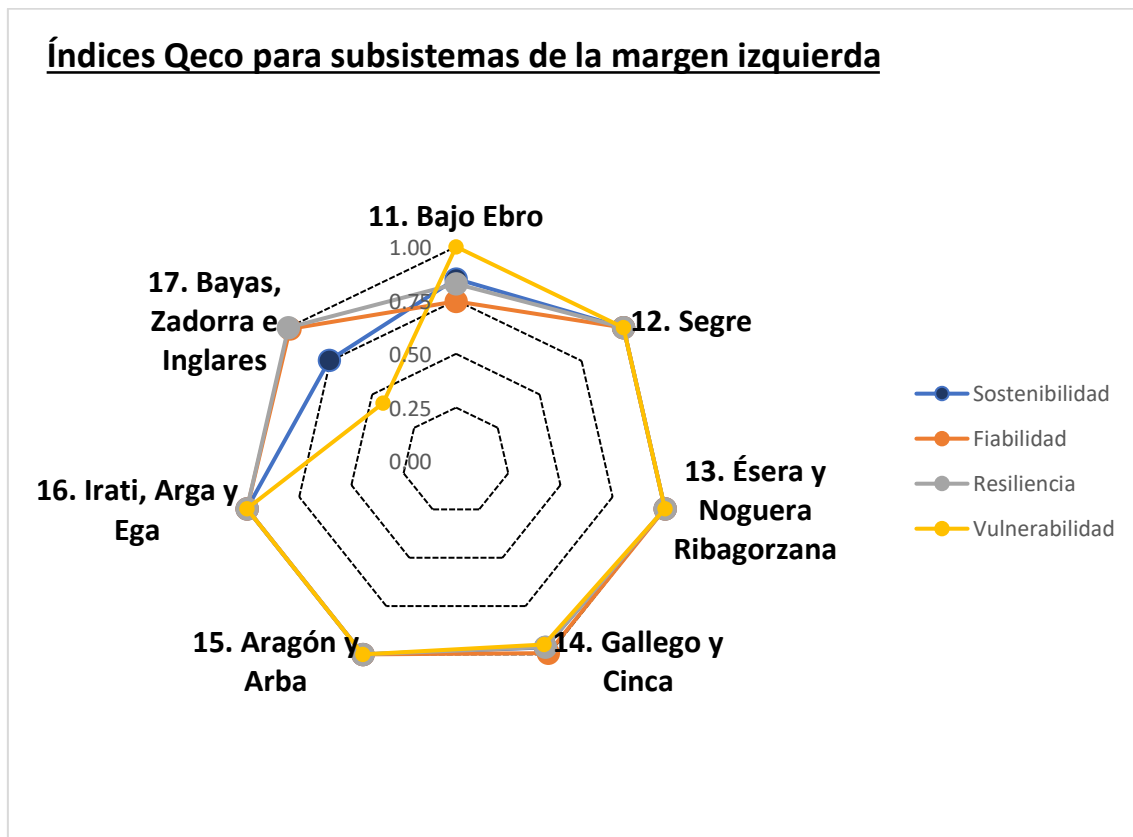
La fiabilidad muestra que apenas hay meses con déficit para el periodo de simulación, por lo que los caudales ecológicos establecidos se cumplen en su gran mayoría. La resiliencia también está en torno a 1, por lo que los pocos meses en los que no se cumplen los caudales de referencia son discontinuos, se encuentran separados entre sí. El índice de vulnerabilidad también es adecuado para la mayoría de las Juntas de la margen derecha a excepción de la Junta 2. Como se expone en el ejemplo de a continuación, en la Junta 2 ocurre un único mes de déficit para el periodo de simulación en su totalidad, pero este mes de déficit es máximo, es decir, no transcurre caudal alguno.



Gráfica 19: Déficit del Qeco de la Junta nº 2

La gráfica 19 muestra el caudal que circula por el tramo de río con caudal ecológico de la Junta 2, el caudal de referencia a cumplir y el correspondiente déficit. Como se puede observar, solo hay un único mes con déficit en donde el caudal que circula es menor que el caudal de referencia. Además, en ese mes el caudal es 0 por lo que la magnitud del

déficit para ese mes es máxima. Esta es la razón por la que la vulnerabilidad expuesta en la gráfica 18 resulta 0.



Gráfica 20: Resultados de Índices de Sostenibilidad para el Qeco de las Juntas de la margen izquierda

Para las Juntas de Explotación de la margen izquierda los índices también son adecuados a excepción de la Junta 17. En esta Junta hay pocos meses en los que por el río transcurre un caudal inferior al caudal de referencia, pero cuando lo hace, el déficit es de gran magnitud. Hay que tener en cuenta que, como ya se ha explicado anteriormente, en la Junta 17 se realiza un trasvase de gran magnitud y éste imposibilita el correcto cumplimiento del caudal ecológico del subsistema.

Como se ha hecho en los casos anteriores, se han realizado mapas representativos de los Índices de Sostenibilidad para los caudales ecológicos de los subsistemas.

- Índice de Fiabilidad para el caudal ecológico

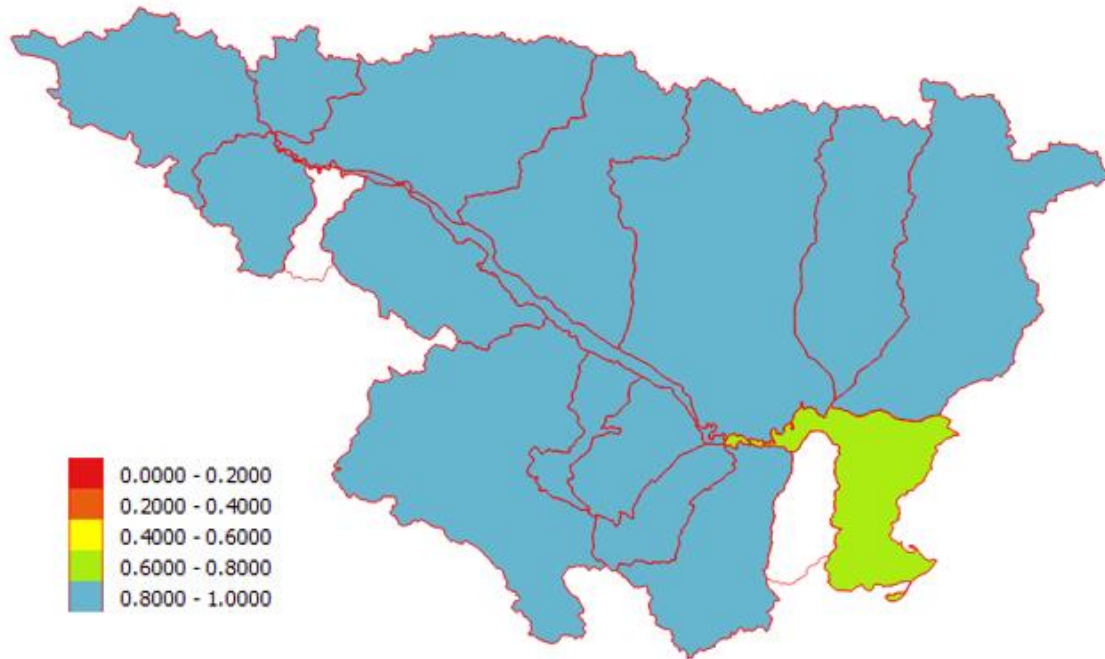


Figura 27: Índice de Fiabilidad del Qeco

Tal y como se ha mencionado anteriormente, la fiabilidad de los caudales ecológicos de las Juntas es adecuada, ya que la mayoría ronda entre 0,8 y 1.

- Índice de Resiliencia para el caudal ecológico

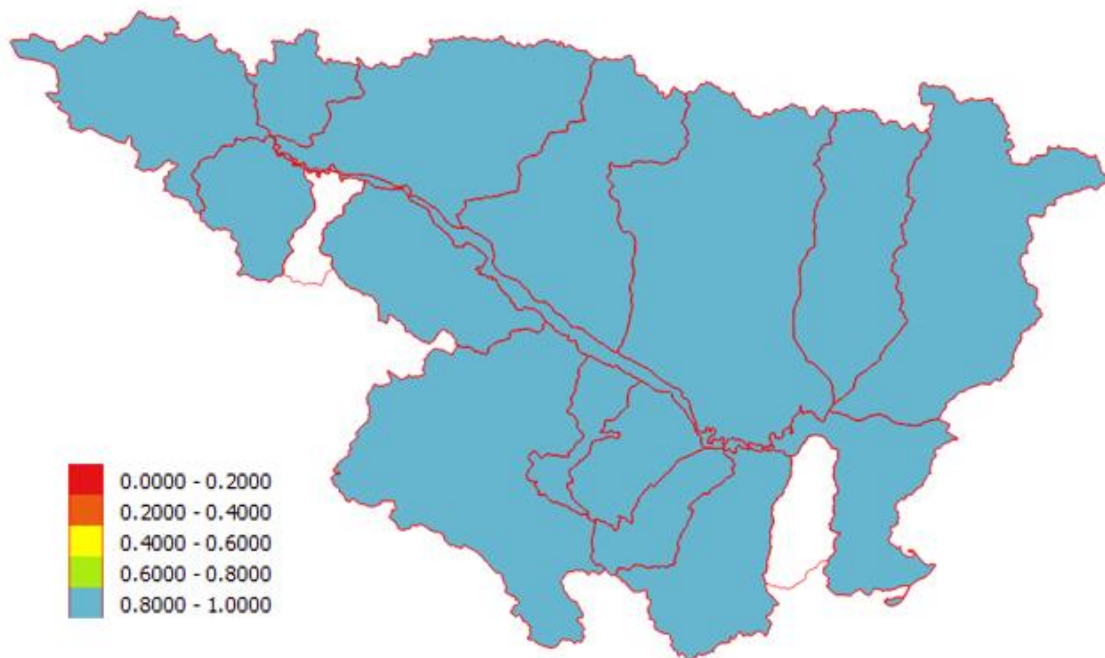


Figura 28: Índice de Resiliencia del Qeco

La resiliencia de los caudales ecológicos de todas las Juntas también es favorable.

- Índice de Vulnerabilidad para el caudal ecológico

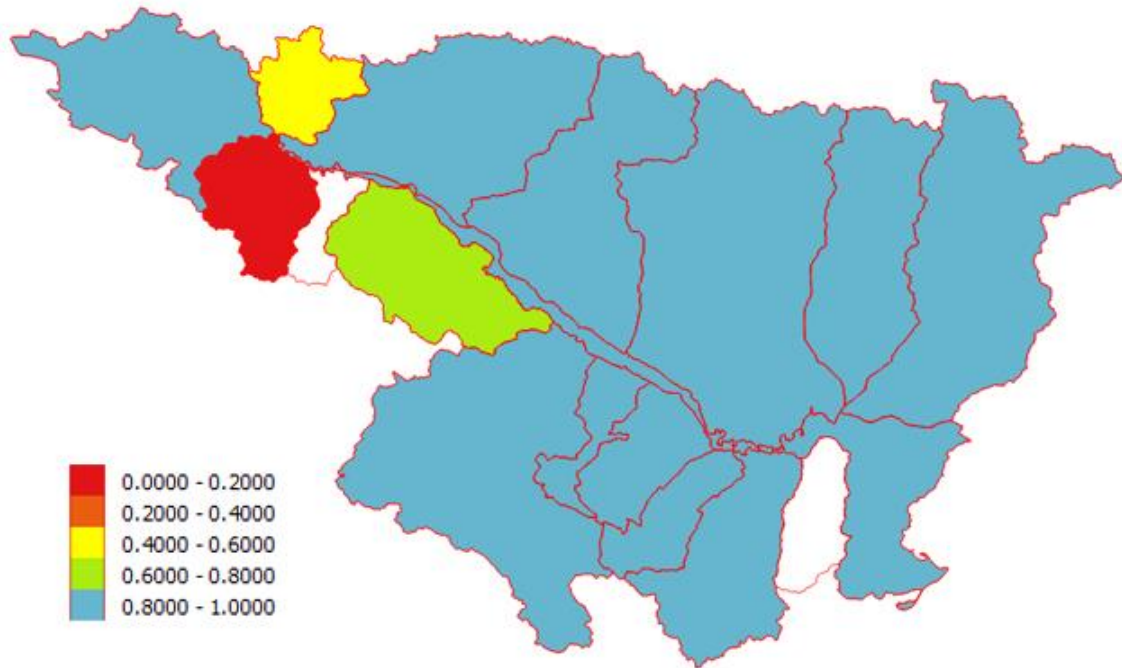


Figura 29: Índice de Vulnerabilidad del Qeco

Como ya se ha analizado, el índice de vulnerabilidad es 0 para la Junta 2 ya que el déficit es máximo en el único mes de fallo. El subsistema 17 también tiene problemas de vulnerabilidad debido a la gran magnitud del trasvase que se realiza al Gran Bilbao.

- Índice de Sostenibilidad para el caudal ecológico

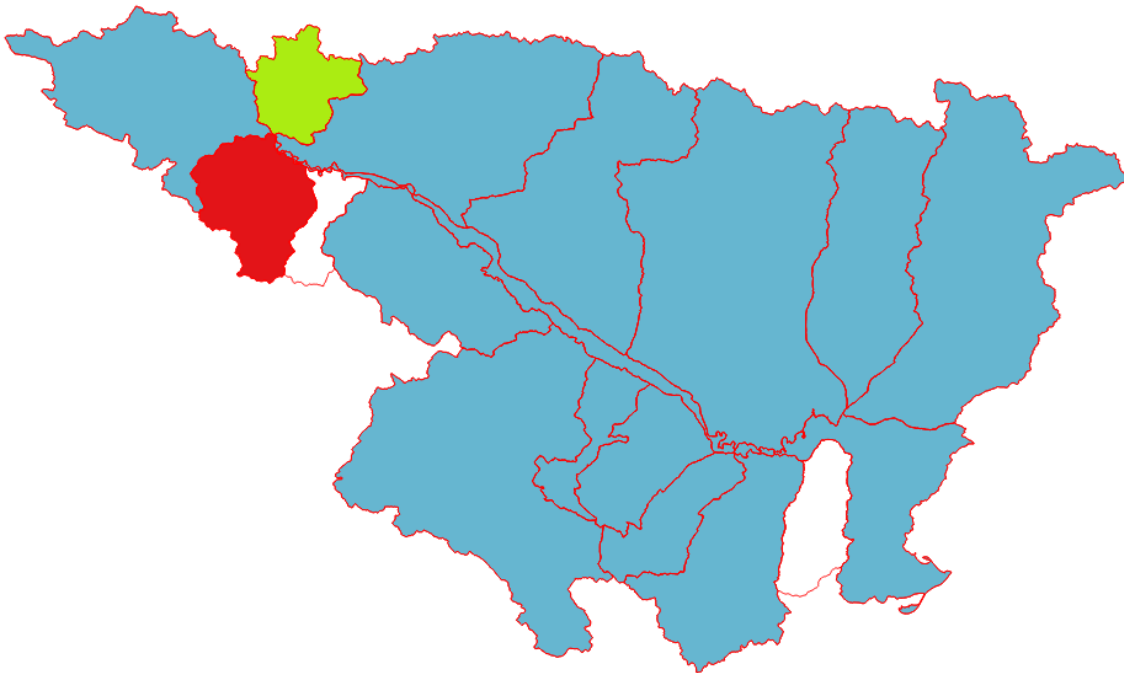


Figura 30: Índice de Sostenibilidad del Qeco

La sostenibilidad queda influenciada por la baja vulnerabilidad de las Juntas 2 y 17. Por lo demás los índices son adecuados.

Cabe destacar que estos resultados de caudales ecológicos no son definitivos ya que no se tiene en cuenta la reducción que se realiza en el caudal ecológico en épocas de sequía. Es por ello que ante épocas de sequía y con caudales ecológicos menores el déficit sería menor, mejorando así su vulnerabilidad.

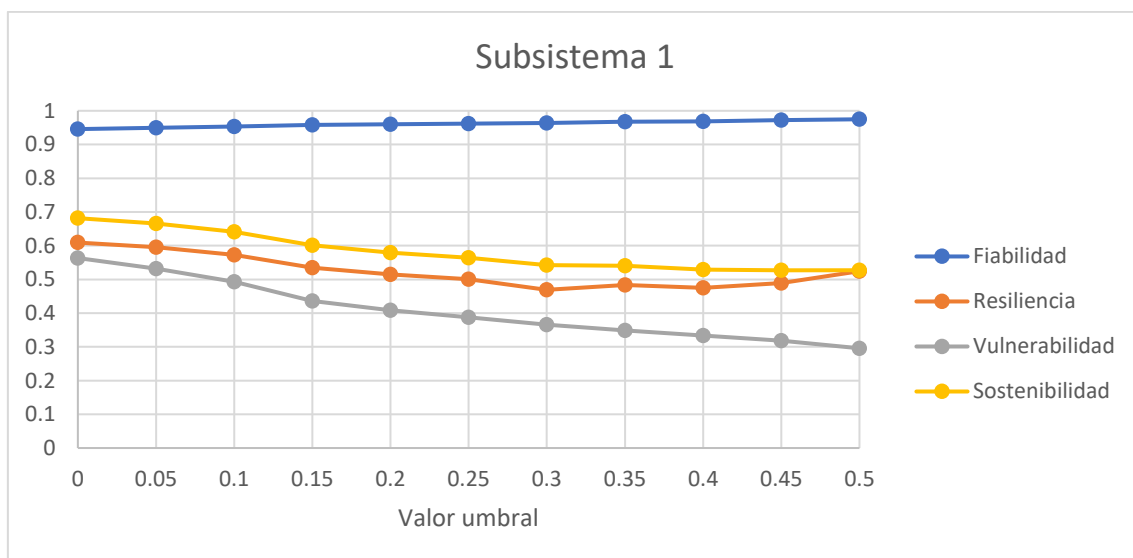
Por otro lado, con el objetivo de evitar déficits para los caudales ecológicos se podrían crear curvas de reserva tal y como se ha realizado con la demanda urbana. Así pues, se podrían aumentar los volúmenes objetivo de los embalses y cambiar la prioridad de los caudales ecológicos para que éstos puedan obtener agua de ahí.

7. Análisis de sensibilidad del umbral de fallo sobre los índices de la demanda agraria

Como ya se ha mencionado anteriormente, en un mes hay fallo cuando hay déficit en la demanda, es decir, cuando no es posible suministrar toda la demanda en ese mes. En el presente apartado se realiza un análisis de sensibilidad de la demanda agraria considerando diferentes valores umbrales de déficit para considerar que un mes falla.

Por lo tanto, el punto de partida es la consideración de que un mes falla cuando el déficit es mayor al 0% de la demanda. En el análisis de sensibilidad se han calculado los índices de sostenibilidad para cada Junta de Explotación considerando que un mes falla cuando el déficit es el 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45 y 50% de la demanda. Ya que la cuenca del Ebro está compuesta por un gran número de subsistemas, este análisis se ha centrado más en las Juntas con mayor demanda agraria que, por lo general, se encuentran en la margen izquierda del río Ebro. Las demandas agrarias de mayor magnitud son las que se encuentran en los subsistemas 1, 13 y 14.

- Junta de Explotación 1: La junta de Explotación 1 es el subsistema que va desde cabecera del río Ebro hasta el embalse de Mequinenza. Como ya se ha comentado anteriormente, la demanda agraria de este subsistema es de 1.300 hm³. A continuación, se muestra un gráfico en donde se puede observar la evolución de cada índice de sostenibilidad respecto a los diferentes valores umbral.



Gráfica 21: Índices de Sostenibilidad de la DA se la Junta nº1 para diferentes umbrales

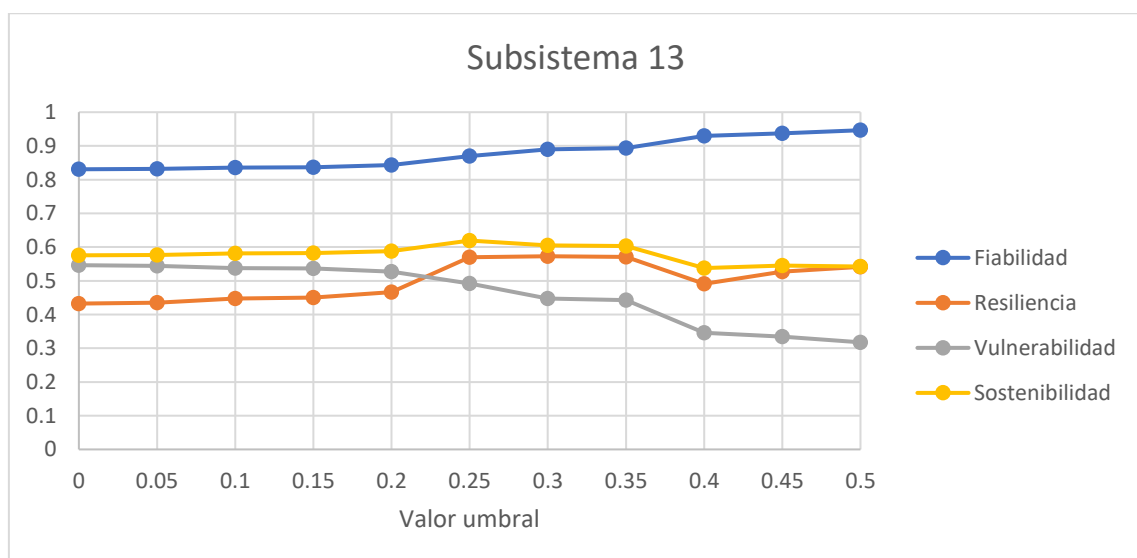
Tal y como se refleja en la gráfica, la fiabilidad sube ligeramente cuando se consideran umbrales de déficit mayores. Esto es obvio teniendo en cuenta que el índice de fiabilidad representa el número de meses con fallo que existen en la simulación. Si se considera que para que en un mes haya fallo el déficit tiene que ser mayor al 50% de la demanda, es evidente que la fiabilidad será mayor que el punto de partida del presente trabajo, en donde se considera que hay fallo si en un mes existe déficit, por mínimo que sea.

En cuanto al índice de resiliencia, éste baja considerablemente, aunque a partir de un umbral de 0,3 éste vuelve a subir ligeramente. Esto se debe a que la resiliencia tiene en cuenta únicamente lo continuos o prolongados que están los meses en los que hay fallo, e ignora los meses que no hay fallo. Al considerar valores umbral mayores, hay menos meses que fallan, pero estos meses están más juntos entre sí.

La vulnerabilidad en esta Junta de Explotación también baja significativamente. Con la vulnerabilidad ocurre lo mismo que con la resiliencia, ya que sólo se centra en los meses que hay fallo. Así pues, la vulnerabilidad baja ya que el porcentaje de déficit que hay en los meses con fallo respecto las demandas de esos meses es mayor. La gráfica de la fiabilidad también da indicios de esta situación, ya que aun estableciendo valores umbral mucho mayores la fiabilidad apenas sube, por lo que pone en manifiesto que la mayoría de meses tienen un gran déficit.

Finalmente, se puede observar que el Índice de Sostenibilidad también baja. Como ya se ha detallado anteriormente el Índice de Sostenibilidad relaciona la fiabilidad, la vulnerabilidad y la resiliencia, por lo que, dado que la vulnerabilidad y la resiliencia bajan considerablemente, la sostenibilidad también es menor.

- Junta de Explotación 13: Esta Junta se sitúa en la margen izquierda del Ebro. La demanda agraria de esta Junta es de 989 hm³. Los índices de sostenibilidad se muestran en el siguiente gráfico.



Gráfica 22: Índices de Sostenibilidad de la DA se la Junta nº13 para diferentes umbrales

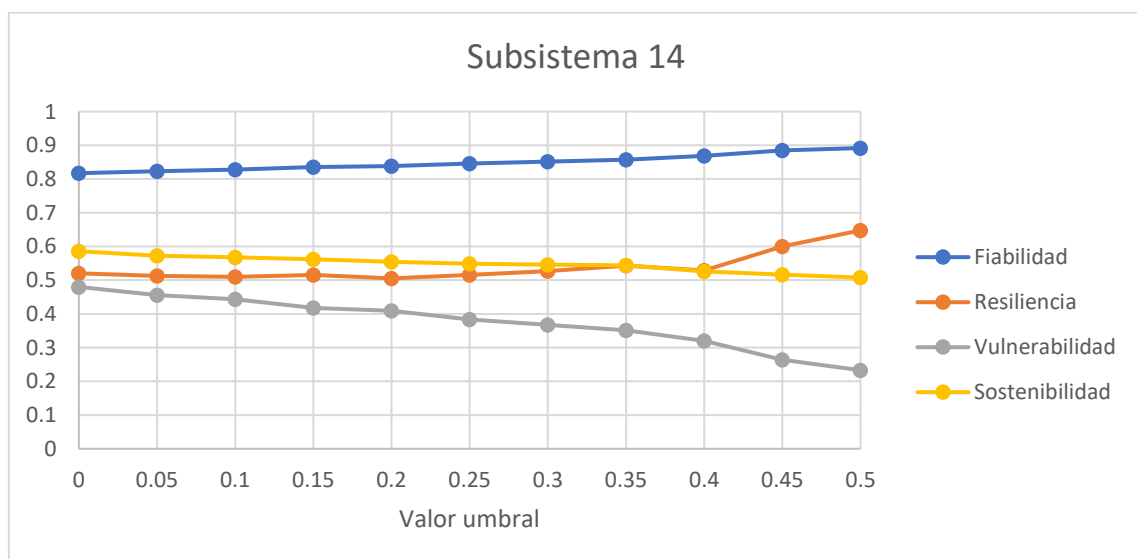
En el gráfico se puede observar que la fiabilidad aumenta de una manera más significativa que en el subsistema anterior. Esto quiere decir que hay un mayor número de meses que tienen un déficit menor al 50% de la demanda. Aun así, sigue habiendo varios meses con un déficit considerable.

Al contrario que en La Junta anterior, en este caso el Índice de Resiliencia mejora ligeramente. Los valores más altos de resiliencia se encuentran entre los umbrales de 0.25 y 0.35. Esto significa que a partir de un valor umbral de déficit del 0.2 respecto a la demanda, los meses con fallo se encuentran más separados entre sí. A partir de un valor umbral de 0.35 en cambio, desaparecen varios meses de fallo que se encontraban separados de los demás, y los restantes se encuentran más continuos entre sí.

Lo que al Índice de Vulnerabilidad respecta, éste baja muy significativamente. Esto revela que hay varios meses que dejan de considerarse fallidos por el aumento de los valores umbral, y los que van permaneciendo tienen un gran déficit.

El Índice de Sostenibilidad de la Junta se reduce ligeramente, ya que, aunque la fiabilidad y la resiliencia mejoran, la reducción de la vulnerabilidad es más trascendental.

- Junta de Explotación 14: La demanda agraria es de 1553 hm³, y es la Junta con mayor demanda agraria de la DHE. Se sitúa en la margen izquierda del Ebro.



Gráfica 23: Índices de Sostenibilidad de la DA se la Junta nº14 para diferentes umbrales

Como no puede ser de otra manera, en este caso la fiabilidad también mejora, aunque en menor medida que la Junta 13. La resiliencia también mejora ligeramente, aunque el salto más considerable lo hace a partir de un umbral de fallo de 0,4. En el rango entre 0,4 y 0,5 los meses que dejan de ser fallidos hacen que el restante esté más separado. Como viene siendo habitual la vulnerabilidad baja cuantiosamente. Esto significa que, aunque hay una cantidad menor de meses con fallo, los restantes son meses con gran déficit. La vulnerabilidad influye en que el Índice de Sostenibilidad también sea menor.

Por lo tanto, viendo los resultados de las gráficas queda patente que por lo general el Índice de Sostenibilidad baja a mayores umbrales de fallo. Esto se debe en gran parte a la drástica reducción del Índice de Vulnerabilidad, ya que, por lo general, los meses con fallo poseen un gran déficit, y la ligera mejoría de fiabilidad deja de considerar como fallidos los meses de poco déficit.

8. Simulación de escenarios

En este apartado se ha analizado el sistema teniendo en cuenta diferentes escenarios futuros posibles. En los escenarios se tienen en cuenta los cambios de demanda que pueda haber, la influencia que pueda tener el Cambio Climático y la puesta en funcionamiento de nuevos embalses. Para poder obtener un diagnóstico de los diferentes escenarios se han vuelto a calcular los Índices de Sostenibilidad.

8.1 Cambios en demanda

En el escenario de evolución de la demanda se ha tenido en cuenta la proyección de la demanda urbana y agraria para el año 2033 que se contempla en el Plan Hidrológico del Ebro. En general, se prevé que tanto la demanda agraria como la urbana se verán aumentadas considerablemente. Teniendo en cuenta estas proyecciones se ha vuelto a realizar simulaciones del modelo y se han obtenido nuevos índices de sostenibilidad para las demandas y los caudales ecológicos.

8.2 Efectos del cambio climático

“Desde 1950 se han observado muchos cambios importantes sin precedentes en los últimos decenios a milenios” (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2009), por lo que el Cambio Climático es una realidad.

La mayor parte de los estudios que hacen el ejercicio de trasladar a escala de la demarcación del Ebro los resultados de los modelos generales de Cambio Climático coinciden en señalar que la precipitación disminuirá y la temperatura incrementará, afectando este último en la evapotranspiración y, por lo tanto, en la disminución de los recursos hídricos naturales.

El CEDEX ha realizado en 2010 una “Evaluación del Cambio Climático en los recursos” para las diferentes demarcaciones, para los escenarios de emisiones A2 y B2 del IPCC y las proyecciones climáticas establecidas por la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET). Estos dos escenarios se distinguen en que el A2 considera que no se tomarán medidas para reducir la emisión de gases causantes de efecto invernadero, mientras que el B2 sí que incorpora medidas de reducción. La Oficina Española del Cambio Climático considera que el escenario a tomar como referencia es el A2.

Teniendo esto en cuenta y de acuerdo con el estudio del CEDEX el porcentaje de disminución de aportación que se ha considerado para el horizonte 2033 es del 5% (Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, 2015).

8.3 Funcionamiento de embalses en fase de construcción

En la demarcación del Ebro hay varios embalses que se encuentran en fase de construcción. En el presente apartado se considera la definitiva construcción y la puesta en funcionamiento de éstos. Estas labores de construcción pueden tener como objetivo la construcción de nuevos embalses o recrecimiento de los ya existentes. A continuación, se listan las actuaciones que se prevén realizar:

- **Construcción del embalse de Biscarrués:** Este embalse se ubica en la localidad de Biscarrués, Huesca. Pertenece a la cuenca del río Gállego, que a su vez se encuentra en la Junta de Explotación 14. La capacidad del embalse es de 33 hm³.



Figura 31: Ubicación del embalse Biscarrués (Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, 2015)

- **Recrecimiento del embalse de Yesa:** El embalse de Yesa se encuentra en la localidad de Yesa, Navarra, y pertenece al río Aragón, situado en la Junta de Explotación 15. Se prevé realizar un recrecimiento del embalse desde 446 hm³ a 1525 hm³.
- **Recrecimiento del embalse de La Tranquera:** Éste se ubica en la provincia de Zaragoza y embalsa el agua del río Piedra, Junta número 5. Su capacidad pasa a ser de 76 hm³ a 91 hm³.
- **Recrecimiento del embalse de Santolea:** Se prevé que este embalse que se encuentra en la provincia de Teruel y en el subsistema 9 pase a tener una capacidad de 51 hm³ a 105 hm³.
- **Construcción del embalse de Mularroya:** Se ubica en la provincia de Zaragoza y embalsará aguas del río Grío, afluente del Jalón. Se prevé que su capacidad llegue a los 103 hm³.



Figura 32: Ubicación del embalse Mularroya (Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, 2015)

- **Construcción del embalse de Albagés:** Se encuentra en la localidad de Albagés, Lérida. Pertenece al subsistema 12, en donde embalsará los recursos hídricos del río Segre. Dispondrá de una capacidad de 80 hm^3 . Al encontrarse cercano al embalse de Rialb y recibir las aguas provenientes de éste, en el modelo se ha decidido incluirlo en el mismo embalse de Rialb, aumentando así su capacidad.
- **Construcción del embalse de Enciso:** Se sitúa en el pueblo de Enciso, en La Rioja. Se ubica en el río Cidacos, el cual pertenece a la Junta 4. Por poseer similares características y ubicación que el embalse de Val, su capacidad de 46 hm^3 se ha incluido en él.
- **Construcción del embalse Cigudosa Valdeprado:** Al igual que el embalse de Enciso, se ha introducido en el embalse de Val.
- **Construcción del embalse de Almudevar:** Pertenece a la localidad de Almudevar, Huesca. Se incluye en el río Cinca, subsistema 14. Su capacidad alcanzaría los 180 hm^3 . Al tratarse de un embalse cuyo objetivo será almacenar los caudales que superen la capacidad de la presa La Sotonera en épocas lluviosas, se le ha añadido a su capacidad.

8.4 Resultados de los IS

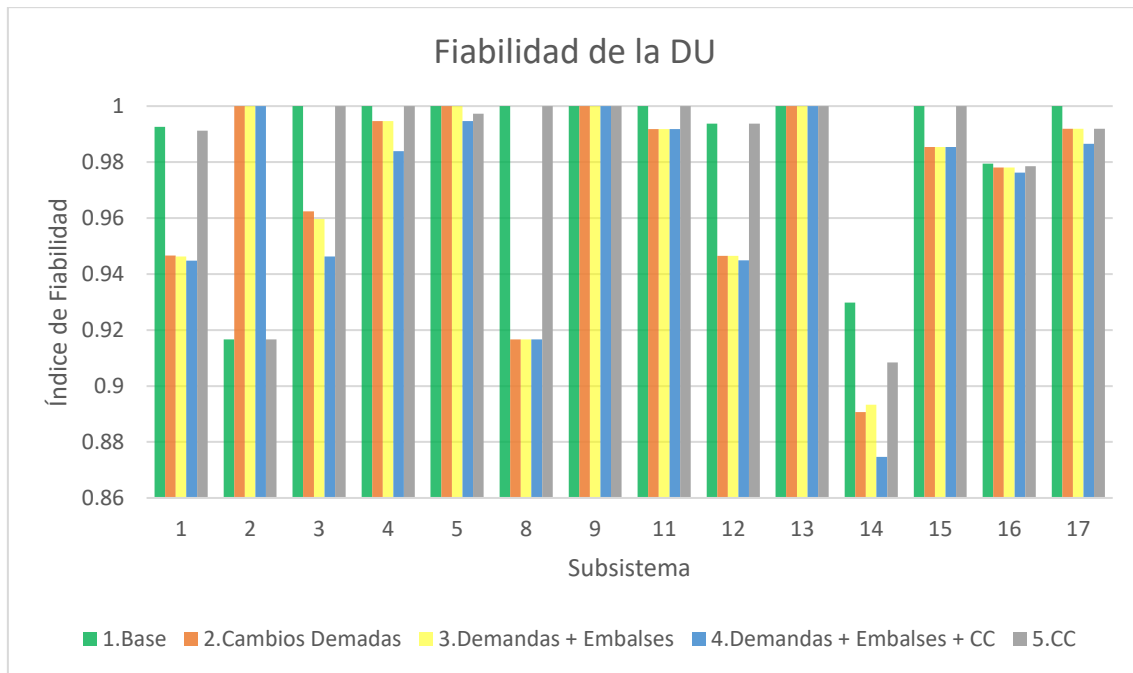
En este apartado se muestran los resultados de los índices obtenidos para diferentes escenarios. Para ello, se han manejado cinco escenarios diferentes:

- **Escenario 1: Modelo base.** El modelo del que se ha partido y se han realizado todas las simulaciones anteriores.
- **Escenario 2: Modelo base + cambios de demanda.** Al modelo base se le añaden los cambios de demanda que se prevén para el 2033.
- **Escenario 3: Modelo base + cambios de demanda + nuevos embalses.** Al modelo utilizado en el escenario 2 se le introducen los nuevos embalses que se encuentran en fase de construcción.
- **Escenario 4: Modelo base + cambios de demanda + nuevos embalses + Cambio Climático.** Al escenario 3 se le aplica la disminución de aportaciones a efectos del Cambio Climático.
- **Escenario 5: Modelo base + Cambio Climático.** Al modelo base del escenario 1 se le introducen los cambios de aportaciones causados por el Cambio Climático.

8.4.1 IS de la demanda urbana

A continuación, se exponen los Índices de Sostenibilidad de la demanda urbana obtenidos en los diferentes escenarios.

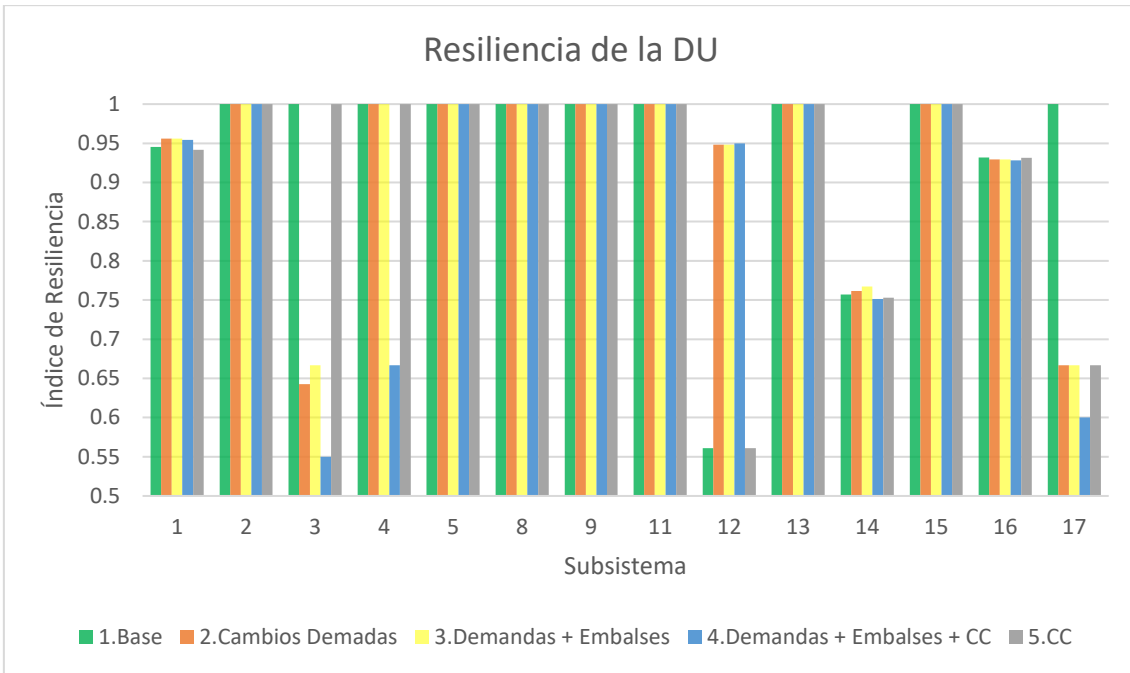
- **Índices de Fiabilidad:**



Gráfica 24: Índices de Fiabilidad de la DU para los diferentes escenarios

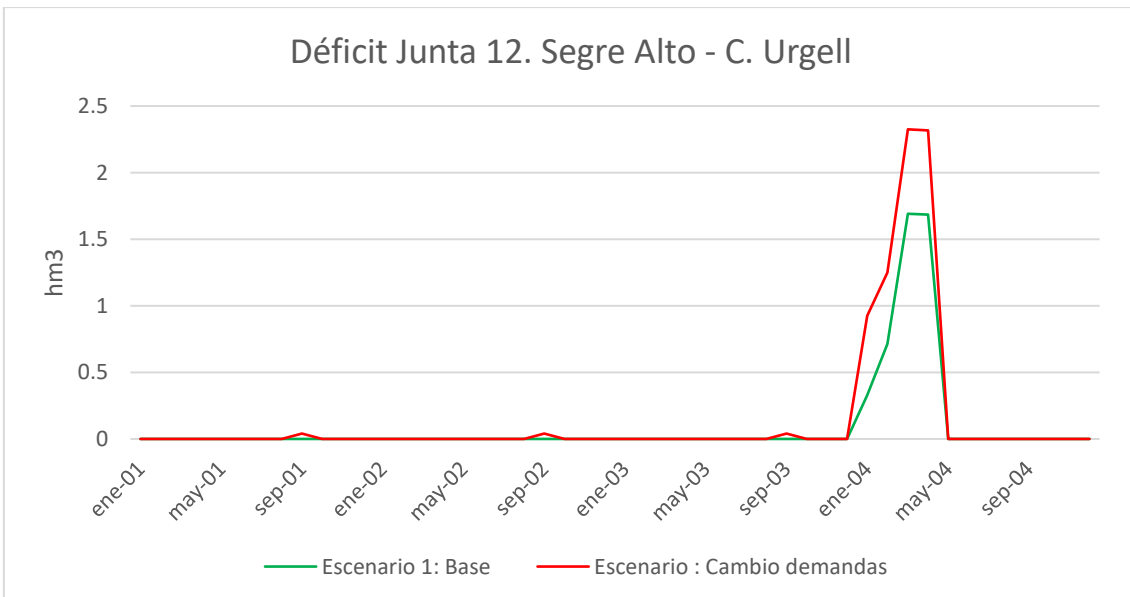
En la gráfica anterior se puede observar los valores de fiabilidad de la demanda urbana en los diferentes escenarios. El escenario base es el escenario con mejores Índices de Fiabilidad, a excepción de la Junta 2, esto se debe a que en los nuevos escenarios el modelo realiza una nueva redistribución del agua. Si se observan los escenarios 1, 2 y 5 la gráfica muestra que el aumento de demandas tiene mayor influencia en el sistema que el efecto del Cambio Climático. La construcción de nuevos embalses apenas afecta en la cantidad de fallos de la demanda urbana, ya que los escenarios 2 y 3 se mantienen parejos. Por otro lado, el escenario más desfavorable es el escenario 4 ya que tiene en cuenta los efectos del Cambio Climático y aumento de demandas.

- **Índices de Resiliencia:**



Gráfica 25: Índices de Resiliencia de la DU para los diferentes escenarios

Los Índices de Resiliencia son totalmente diferentes. Si se compara la fiabilidad y la resiliencia del subsistema 12, se observa que los escenarios 2, 3 y 4 poseen mayor número de meses con déficit, pero este mayor número de fallos está mejor compensado que el escenario base al no estar tan juntos, como se muestra en la gráfica 26.



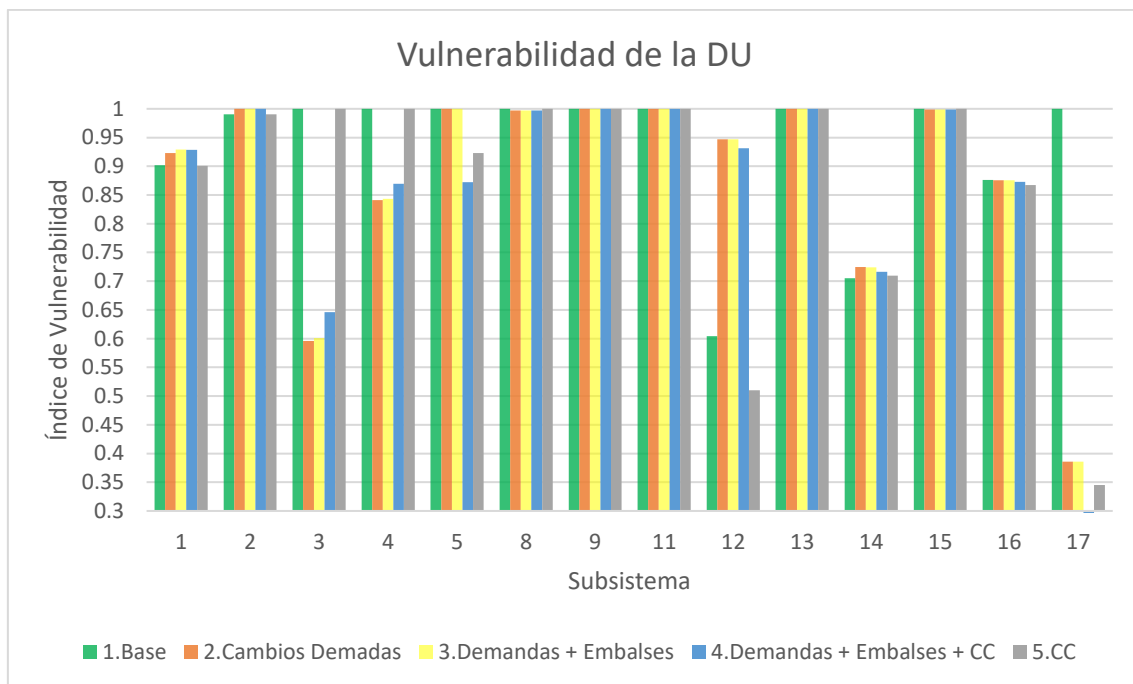
Gráfica 26: Meses de déficit de la demanda 12. Segre Alto – C. Urgell para los escenarios 1 y 2

Para el escenario 2 de aumento de demanda, la demanda “12. Segre Alto – C. Urgell” posee varios meses de fallo, pero estos meses están repartidos y tienen un déficit muy

bajo (exceptuando los meses entre enero y mayo del año 2004). Es por ello que el Índice de Resiliencia y Vulnerabilidad del escenario 2 es alto.

En el caso del escenario base en cambio, los únicos meses que falla en todo el periodo de simulación son entre el mes de febrero y mayo de 2004 (salvo alguna excepción), y es por ello que la resiliencia es muy baja.

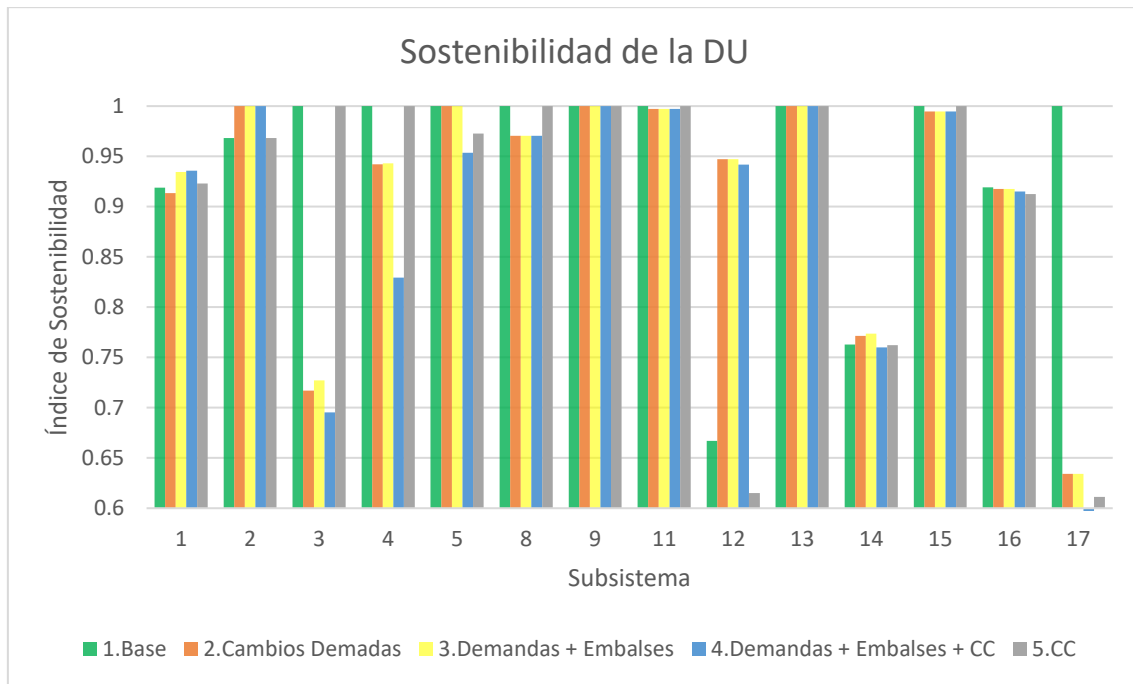
- **Índices de Vulnerabilidad:**



Gráfica 27: Índices de Vulnerabilidad de la DU para los diferentes escenarios

La gráfica 27 muestra los Índices de Vulnerabilidad de los diferentes escenarios. Al igual que en el caso de la resiliencia, los escenarios de mayor cantidad de fallos no tienen por qué ser los escenarios con menor vulnerabilidad, ya que, aunque tienen mayor número de meses con fallo, algunos de éstos puede que sean con un déficit insignificante, como es el caso del subsistema 12 (ver gráfica 26).

- **Índices de Sostenibilidad:**

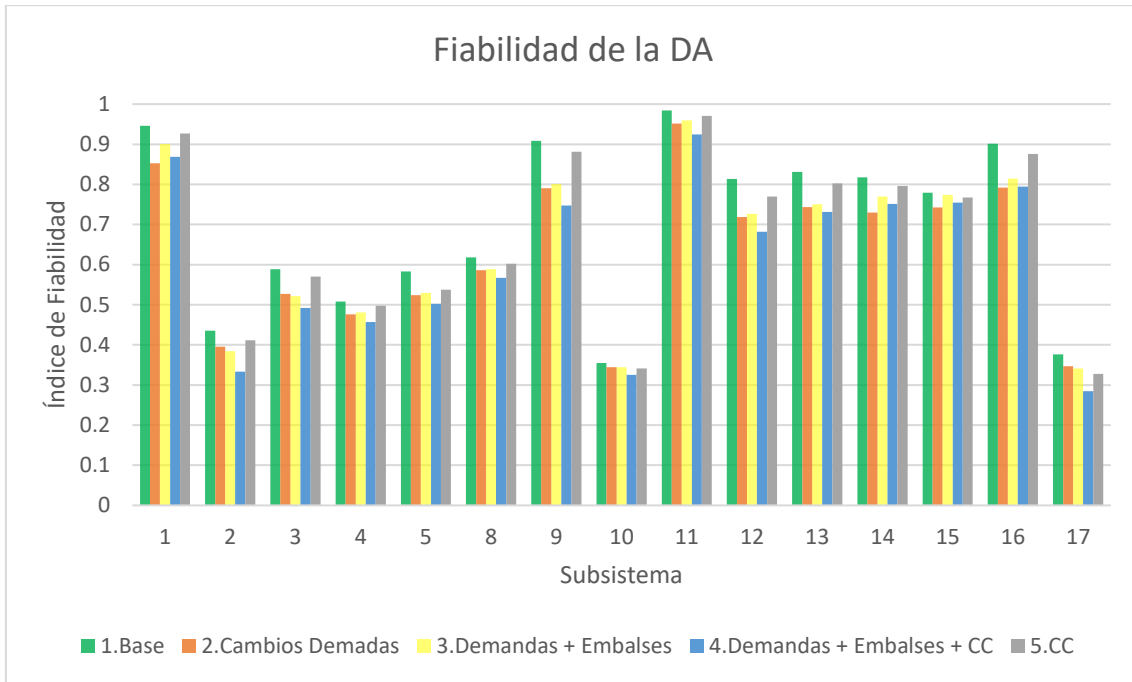


Gráfica 28: Índices de Sostenibilidad de la DU para los diferentes escenarios

En los Índices de Sostenibilidad se observa que, por lo general, los escenarios gozan de índices adecuados. Las excepciones son los subsistemas 3, 12, 14 y 17 para algunos de los escenarios. La implantación de nuevos embalses también supone una leve mejoría en los subsistemas 1, 3 y 14.

8.4.2 IS de la demanda agraria

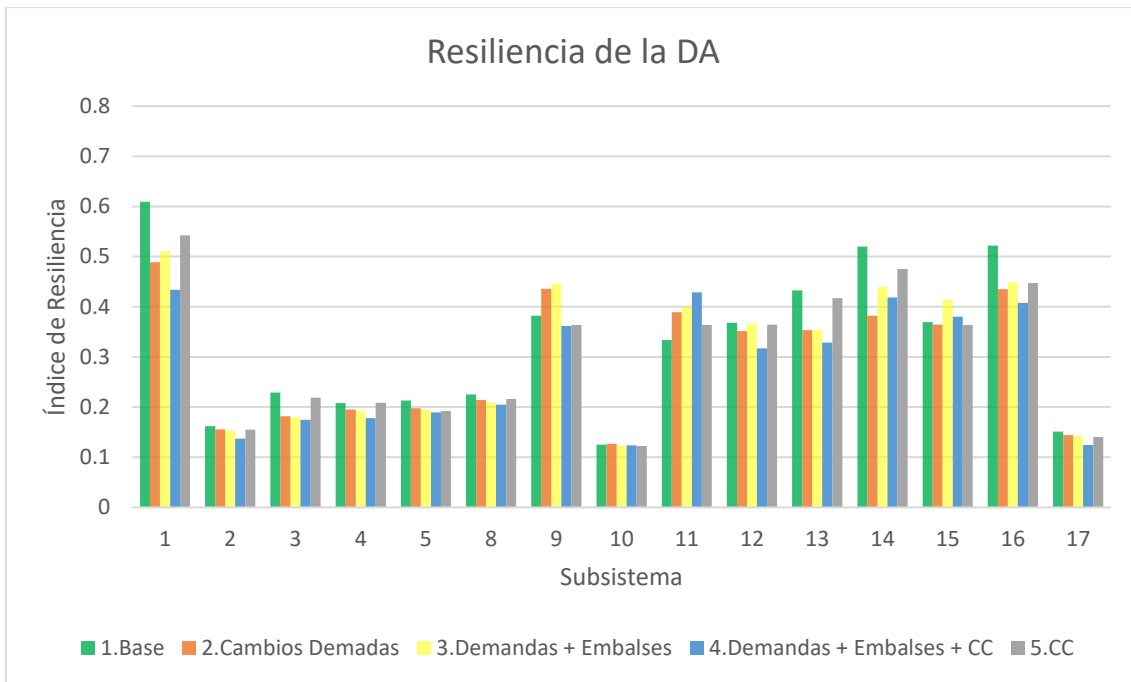
- **Índices de Fiabilidad:**



Gráfica 29: Índices de Fiabilidad de la DA para los diferentes escenarios

En la gráfica de fiabilidad se refleja que el escenario con menos meses con fallo es el modelo base, mientras que el escenario con Índices de Fiabilidad más bajos es el escenario 4, el cual tiene en cuenta las proyecciones de demanda y de cambio climático y los nuevos embalses. Queda reflejado el efecto del Cambio Climático y el aumento de la demanda si se realiza una comparativa de los escenarios 2 y 5 con el escenario base. Se puede apreciar el efecto del aumento de demandas es más influyente que el efecto del Cambio Climático. Por otra parte, también se observa, en general, una ligera mejoría de fiabilidad con la construcción de nuevos embalses, sobre todo en las Juntas de la margen izquierda.

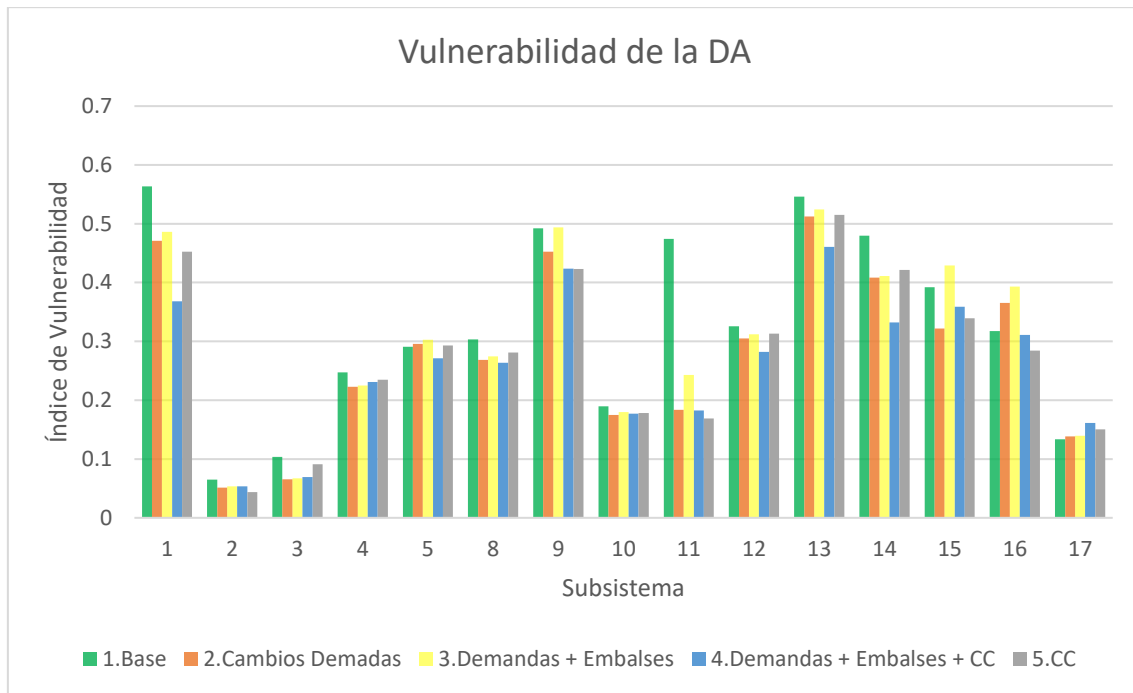
- **Índices de Resiliencia:**



Gráfica 30: Índices de Resiliencia de la DA para los diferentes escenarios

Como ya se ha detallado en el apartado 6.2, los índices de vulnerabilidad y resiliencia de la demanda agraria son muy bajos. La resiliencia del escenario base sigue siendo la más favorable en la mayoría de las Juntas, por lo que los meses de déficit son más discontinuos.

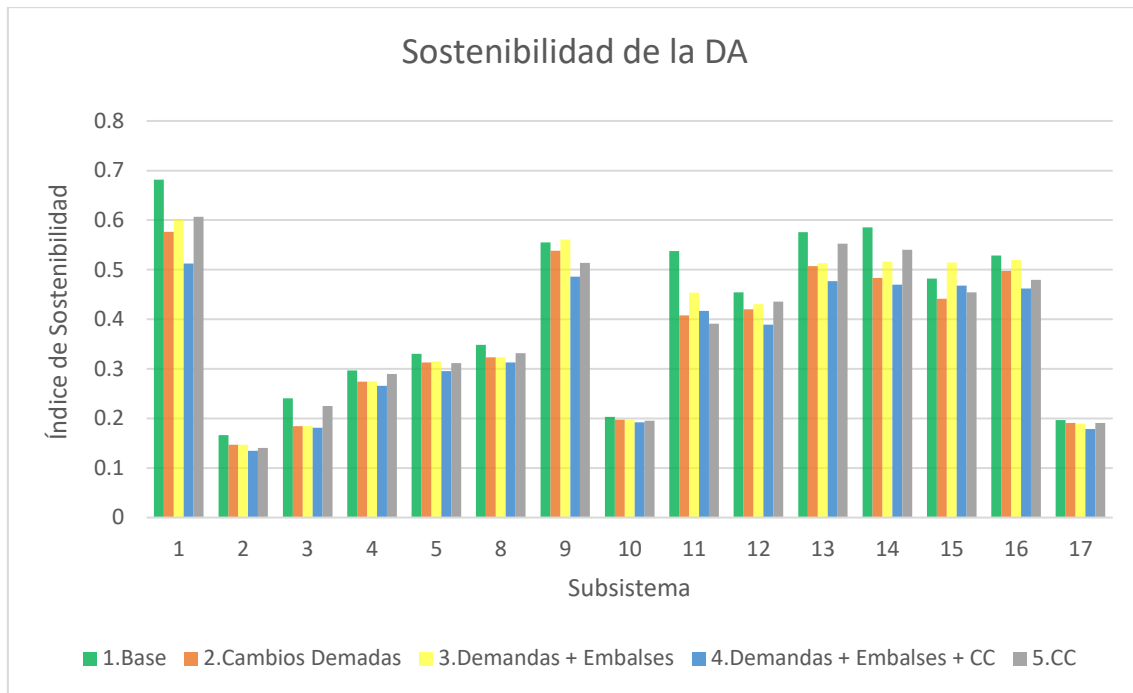
- **Índices de Vulnerabilidad:**



Gráfica 31: Índices de Vulnerabilidad de la DA para los diferentes escenarios

En cuanto a la magnitud de los déficits existentes, el modelo base sigue siendo el más favorable. Cabe destacar que la vulnerabilidad del escenario 3 (base + demandas + embalses) es significativamente mejor que la del escenario 2 (base + cambios demandas), por lo que queda patente la reducción de la magnitud del déficit con la implantación de nuevos embalses.

- **Índices de Sostenibilidad:**

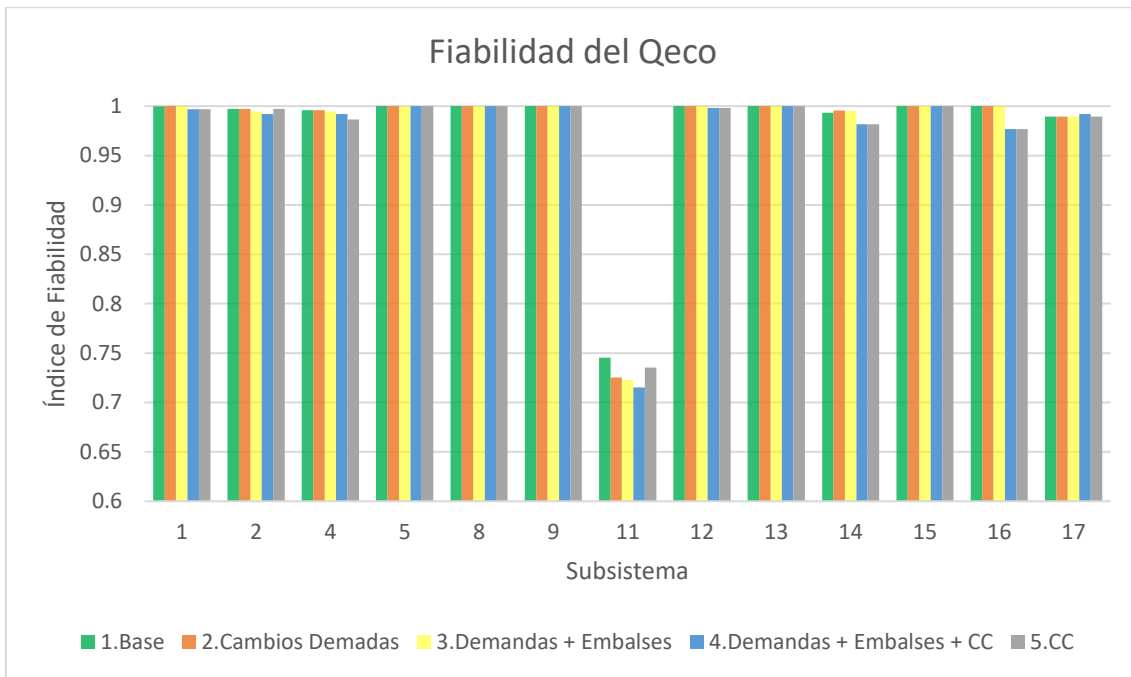


Gráfica 32: Índices de Sostenibilidad de la DA para los diferentes escenarios

Los Índices de Sostenibilidad muestran que si se tienen en cuenta la fiabilidad, resiliencia y vulnerabilidad de la demanda agraria la situación de partida es la más propicia. La puesta en marcha de nuevos embalses sirve para aliviar y mejorar hasta cierto punto los impactos analizados. Por lo general, la influencia del aumento de demandas en los índices es más desfavorable que efecto del Cambio Climático.

8.4.3 IS del caudal ecológico

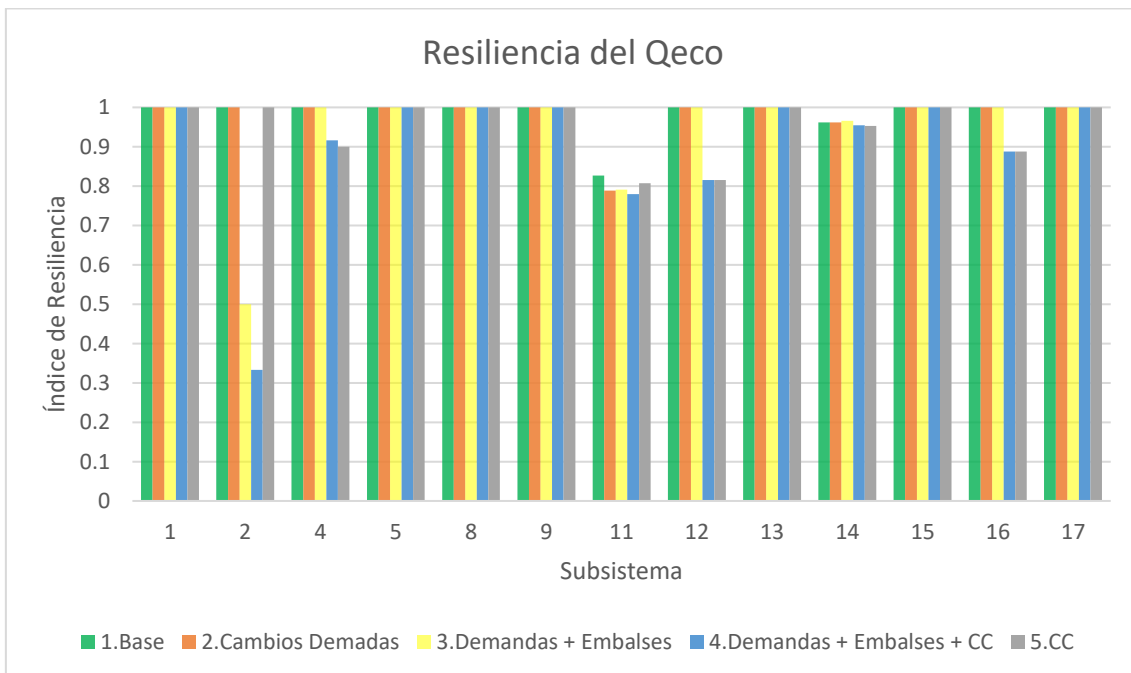
- **Índices de Fiabilidad:**



Gráfica 33: Índices de Fiabilidad del Qeco para los diferentes escenarios

Tal y como se refleja en la gráfica superior los Índices de Fiabilidad son adecuados para todos los subsistemas salvo la Junta 11. Apenas hay diferencia en el número de meses con déficit entre los diferentes escenarios.

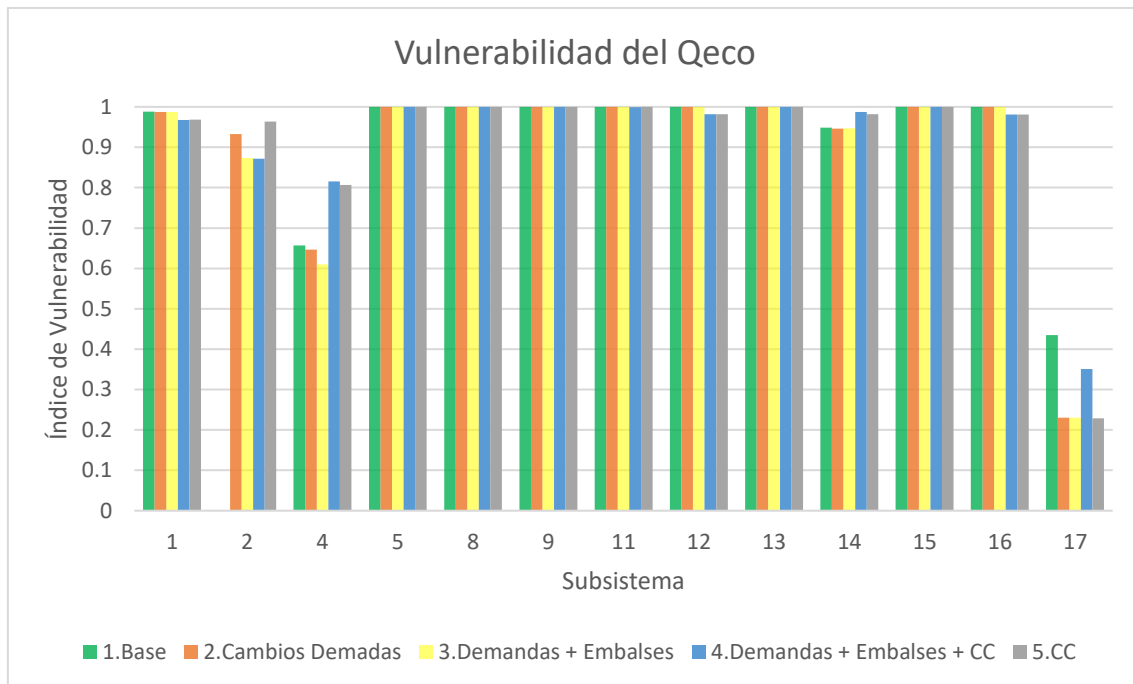
- **Índices de Resiliencia:**



Gráfica 34: Índices de Resiliencia del Qeco para los diferentes escenarios

La resiliencia tampoco cambia mucho entre los diferentes escenarios. Lo que sí que se aprecia es que el Cambio Climático tiene una considerable influencia en la resiliencia de los subsistemas 4, 12 y 16. La construcción de nuevos embalses junto con el aumento de demandas afecta en una presencia de meses con fallo más continua para la Junta 2.

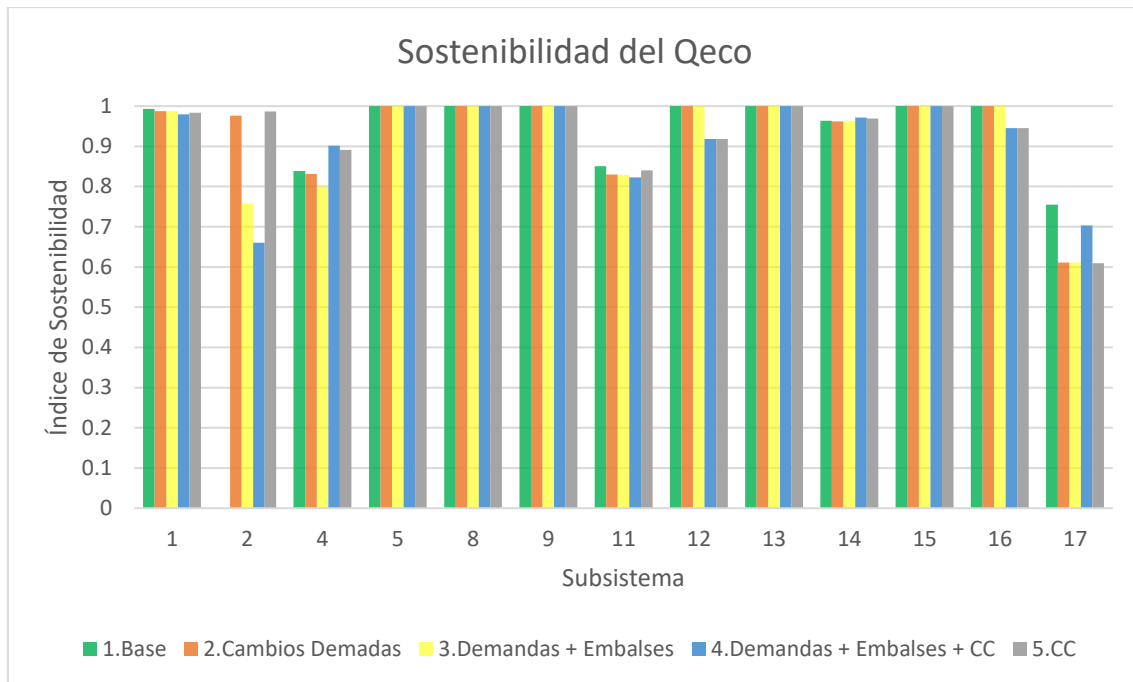
- **Índices de Vulnerabilidad:**



Gráfica 35: Índices de Vulnerabilidad del Qeco para los diferentes escenarios

El aspecto más relevante del Índice de Vulnerabilidad es que la vulnerabilidad en la Junta 2 para el escenario base es 0. Esto se debe a que únicamente hay un mes de fallo, pero ese mes no circula caudal (ver la gráfica 19 del apartado 6.3). Por lo demás la magnitud del déficit de los meses con fallo es bastante adecuada, a excepción de la Junta 17.

- **Índices de Sostenibilidad:**



Gráfica 36: Índices de Sostenibilidad del Qeco para los diferentes escenarios

La vulnerabilidad del escenario base en la Junta 2 es la razón por la que el Índice de Sostenibilidad también es 0. En resumen, los Índices de Sostenibilidad para los caudales ecológicos son adecuados para la mayoría de las Juntas, y no se aprecia una gran diferencia entre los resultados de los diferentes escenarios.

9. Conclusiones

Del estudio del presente trabajo se extraen varias conclusiones. Por un lado, se han alcanzado los objetivos del Trabajo Fin de Máster que se basan en el análisis del sistema de recursos hídricos de la Cuenca del Ebro, la obtención de Índices de Sostenibilidad y el análisis de escenarios futuros.

Se ha desarrollado un modelo de gestión de la cuenca que permite, a grandes rasgos, simular la gestión y asignación de recursos de la cuenca.

La falta de aportaciones frente a la elevada demanda agraria existente en la Demarcación Hidrográfica del Ebro es la gran causante de los considerables déficits que ocurren en las diferentes zonas de la cuenca. Si bien es verdad que la demanda urbana y los caudales ecológicos apenas sufren déficits, el suministro a la demanda agraria funciona incorrectamente en varias épocas de sequía. A pesar de que en la margen

derecha del Ebro las aportaciones son considerablemente más escasas, las demandas, y, sobre todo la agraria, son de menor magnitud. Esto conlleva a que no haya tanta diferencia entre el funcionamiento de las Juntas de Explotación de la margen derecha y la margen izquierda.

Los Índices de Sostenibilidad han resultado ser bastante eficaces a la hora de analizar el sistema. Se han obtenido índices para las demandas urbanas, demandas agrarias y caudales ecológicos. Los Índices de Fiabilidad son buenos para la demanda urbana y los caudales ecológicos, y aceptables para la demanda agraria. Esto supone que no hay un gran número de meses con déficit. En cambio, los Índices de Resiliencia y Vulnerabilidad son realmente deficientes para la demanda agraria y para algunos escenarios de demanda urbana y caudales ecológicos. Esto significa el déficit de los meses con fallo existente es de gran magnitud y además estos meses se encuentran muy seguidos entre sí, resultando ser más problemático el funcionamiento del sistema.

Mediante el análisis de sensibilidad de la demanda agraria se ha podido observar que cuanto mayor es el umbral de fallo que se establece menor es el Índice de Sostenibilidad. Esto se debe a que, a pesar de que con umbrales mayores la cantidad de meses con fallo es menor y la resiliencia se mantiene, los Índices de Vulnerabilidad resultan ser muy inferiores.

Los Índices de Fiabilidad de la demanda urbana y agraria muestran resultados más deficientes para los escenarios de Cambio Climático y aumento de demandas. Los Índices de Vulnerabilidad y Resiliencia, en cambio, pueden no ser tan representativos ya que solo se ciñen a los meses en los que hay fallo.

Ante los resultados obtenidos en el análisis de sensibilidad y los escenarios futuros se observa que en ciertas ocasiones estos Índices de Sostenibilidad pueden resultar contradictorios, ya que la influencia de la resiliencia y, sobre todo de la vulnerabilidad tiene un peso muy grande en los resultados finales de los Índices de Sostenibilidad. Esto conlleva a que en algunos escenarios de menor disponibilidad de recursos en ocasiones se obtengan mejores Índices de Sostenibilidad.

En los escenarios futuros, si bien es verdad que con la construcción de nuevos embalses se mejoran los Índices de Sostenibilidad en la mayoría de subsistemas, hay otras Juntas

donde se obtienen peores resultados. Esto se debe a que el modelo realiza una nueva redistribución del recurso en el nuevo escenario de embalses nuevos.

10. Futuras líneas de investigación

Los Índices de Sostenibilidad ya han sido investigados, demostrados científicamente y puestos en práctica anteriormente. En el artículo *“Índices de Sostenibilidad para la Planificación y Gestión de los Recursos Hídricos”* (Sandoval-Solis, McKinney, & Loucks, 2011) se hizo un análisis de los Índices de Sostenibilidad y se aplicaron en casos diferentes de planificación de los recursos hídricos.

La aplicación de estos índices en la Cuenca del Ebro resulta ser bastante eficaz para realizar el análisis del sistema en la mayoría de los casos, aunque no en todos. El Índice de Resiliencia, y, sobre todo el de Vulnerabilidad tienen mucho peso sobre el Índice de Sostenibilidad final, y esta circunstancia puede repercutir en resultados contradictorios.

Con el objetivo de poder conseguir resultados más sensatos se propone mejorar la relación entre los índices, o incluso plantear cierta modificación en el cálculo del Índice de Vulnerabilidad.

11. Referencias

1. Andreu Álvarez, J., Solera Solera, A., Capilla Romá, J., & Ferrer Polo, J. (2015). *Modelo SIMGES de Simulación de la Gestión de Recursos Hídricos, incluyendo Utilización Conjunta*. Valencia.
2. Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas. (s.f.). *SIMPA. Sistema Integrado para la Modelación del proceso Precipitación Aportación*.
3. Instituto Nacional de Estadística. (2012). *Contabilidad Regional de España*.
4. Intergovernmental Panel on Climate Change. (2009). *Quinto Informe de Evaluación del IPCC: Cambio Climático*.
5. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. (2015). *Plan Hidrológico de la Parte Española de la Demarcación Hidrográfica del Ebro*.
6. Sandoval-Solis, S., McKinney, D., & Loucks, D. (2011). *Sustainability Index for Water Resources Planning and Management*.
7. Solera Solera, A., Paredes Arquiola, J., & Andreu Álvarez, J. (2015). *AQUATOOL+, entorno de desarrollo de sistemas de ayuda a la decisión en materia de planificación de la gestión de cuencas hidrográficas incluyendo utilización conjunta y criterios de calidad de aguas*. Valencia.

ANEXOS

Anexos

Anejo 1: Unidades de demanda urbana introducidas en el modelo

Unidad de demanda	oct	nov	dic	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	Demanda Anual
DU_E01_C. Imperial Abast	5.7	5.2	5.1	5.1	4.6	5.1	5.1	5.7	6.6	7.2	6.6	6.3	68.3
DU_E01_C. Lodosa	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	3.2
DU_E01_E. Ebro	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	3.3
DU_E01_Ebro E. Remolinos - Leza	0.6	0.6	0.5	0.5	0.5	0.6	0.6	0.6	0.6	0.7	0.7	0.6	7.1
DU_E01_Ebro Huerva - Mequinzenza	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	3.4
DU_E01_Ebro Leza - Jalón 1	1.0	0.9	0.9	0.9	0.8	0.9	0.9	1.0	1.1	1.2	1.2	1.1	12.0
DU_E01_Jalón Bajo - Ebro Jalón	3.7	3.8	3.7	3.3	3.0	3.9	4.0	4.0	4.1	4.6	4.6	4.1	46.8
DU_E01_Nela	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	2.0
DU_E01_Rudrón - Oca - Jerea	0.9	0.9	0.9	0.8	0.7	0.9	0.9	1.0	1.0	1.2	1.1	1.0	11.3
DU_E01_Trueba Alto	0.5	0.5	0.5	0.5	0.4	0.5	0.5	0.5	0.6	0.7	0.6	0.6	6.2
DU_E02_Tiron - Najerilla	0.9	0.9	0.9	0.8	0.7	0.9	0.9	0.9	1.0	1.2	1.1	1.0	11.2
DU_E03_Iregua	2.4	2.3	2.2	2.1	1.9	2.3	2.3	2.4	2.7	3.0	2.8	2.7	29.1
DU_E04_Alhama - Cidacos - Linares	1.7	1.7	1.6	1.6	1.4	1.7	1.7	1.8	2.0	2.2	2.1	1.9	21.3
DU_E05_Jalon Alto - Piedra	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.5	0.5	0.6	0.5	0.5	5.5
DU_E08_Huerva - Aguas Vivas	0.6	0.6	0.5	0.5	0.5	0.6	0.6	0.6	0.6	0.7	0.7	0.6	7.0
DU_E09_Guadalope Regallo	0.7	0.6	0.6	0.6	0.5	0.6	0.6	0.7	0.8	0.9	0.8	0.8	8.2
DU_E11_Ebro Aguas Abajo Xerta	0.8	0.8	0.7	0.7	0.6	0.8	0.8	0.8	0.9	1.0	0.9	0.9	9.7
DU_E11_Ebro Delta	6.9	6.5	6.6	6.1	5.6	7.0	7.2	7.7	8.2	9.6	9.6	7.9	88.7
DU_E12_C. Auxiliar Urgell - Segre	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	2.1
DU_E12_Noguera Pallaresa	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.3	0.2	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	3.3
DU_E12_Segre Alto - C. Urgell	1.8	1.7	1.7	1.6	1.4	1.7	1.7	1.8	2.0	2.2	2.1	2.0	21.7
DU_E12_Segre Medio Bajo	0.8	0.8	0.8	0.7	0.7	0.8	0.8	0.8	0.9	1.0	1.0	0.9	10.0

Anexos

DU_E13_C. Aragón Cat. 1	0.6	0.6	0.6	0.6	0.5	0.6	0.6	0.7	0.7	0.8	0.8	0.7	7.8
DU_E13_C. Aragón Cat. 2	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	0.4	0.4	0.4	0.4	0.5	0.4	0.4	4.6
DU_E13_Noguera Ribagorzana Bajo	2.3	2.1	2.1	2.1	1.8	2.1	2.1	2.3	2.6	2.9	2.7	2.6	27.7
DU_E14_Alcandre Medio Bajo	0.7	0.7	0.7	0.7	0.6	0.7	0.7	0.7	0.8	0.9	0.9	0.8	8.8
DU_E14_C. Cinca	0.6	0.6	0.6	0.5	0.5	0.6	0.6	0.6	0.7	0.7	0.7	0.7	7.3
DU_E14_C. Flumen Monegros I	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.4	0.4	0.4	0.4	4.0
DU_E14_Gállego Bajo	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	3.4
DU_E14_Gállego Medio	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	3.2
DU_E15_Aragón Alto	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2	0.3	0.3	0.3	0.3	0.4	0.3	0.3	3.4
DU_E15_Aragón Medio Bajo	0.6	0.6	0.5	0.5	0.5	0.6	0.6	0.6	0.7	0.7	0.7	0.6	7.1
DU_E15_C. Bardenas Ret. Aragón	0.7	0.7	0.7	0.7	0.6	0.7	0.7	0.8	0.8	0.9	0.9	0.8	9.0
DU_E16_Abast. Pamplona	3.0	2.7	2.7	2.7	2.4	2.7	2.7	3.0	3.5	3.8	3.5	3.4	36.1
DU_E16_Arga	1.5	1.5	1.5	1.3	1.2	1.5	1.5	1.6	1.6	1.8	1.8	1.6	18.5
DU_E16_Ega	0.9	0.9	0.9	0.8	0.7	0.9	0.9	0.9	1.0	1.2	1.1	1.0	11.2
DU_E17_Bayas - Zadorra - Inglares	3.2	3.1	3.0	2.9	2.6	3.1	3.1	3.3	3.6	4.0	3.8	3.6	39.4
Total	46.2	44.2	43.5	41.5	37.5	44.8	45.0	48.4	53.3	59.6	56.7	52.0	572.7

Anejo 2: Unidades de demanda agraria introducidas en el modelo

Nombre	oct	nov	dic	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	Demanda Anual
DA_E01_C. Imperial Regadío	5.0	0.7	0.4	1.1	2.2	11.1	13.0	24.9	41.5	71.1	69.0	30.2	270.2
DA_E01_C. Lodosa	6.0	0.9	0.5	1.3	2.5	11.5	10.4	18.2	36.8	56.3	56.4	28.9	229.8
DA_E01_C. Tauste	0.7	0.1	0.1	0.3	0.8	2.5	4.5	7.6	12.2	21.7	18.1	5.9	74.6
DA_E01_Ebro E. Remolinos - Leza	0.6	0.0	0.0	0.0	0.1	0.3	1.4	7.3	12.3	9.0	7.7	2.1	40.7
DA_E01_Ebro Huerva - Mequinenza	3.4	0.9	0.5	1.2	2.7	10.7	26.0	35.5	43.4	68.6	58.4	22.6	273.9
DA_E01_Ebro Leza - Jalón 1	0.9	0.2	0.1	0.3	0.3	1.4	3.6	12.2	15.6	8.4	9.4	4.6	57.0
DA_E01_Ebro Leza - Jalón 2	0.5	0.1	0.1	0.1	0.2	0.6	1.1	3.1	4.8	4.8	5.1	2.5	23.2
DA_E01_Jalón Bajo - Ebro Jalón	6.4	1.1	0.8	1.4	2.7	8.6	14.3	25.7	53.7	88.9	79.3	34.7	317.7
DA_E01_Rudrón - Oca - Jerea	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.8	3.7	3.1	3.1	1.1	12.3
DA_E02_Tiron - Najerilla	3.2	0.3	0.1	0.2	0.7	2.4	2.9	9.8	22.6	31.2	25.8	11.7	110.8
DA_E03_Iregua	1.9	0.2	0.1	0.1	0.4	1.4	1.7	5.8	13.4	18.5	15.3	7.0	65.6
DA_E04_Alhama - Cidacos - Linares	5.4	0.8	0.5	0.9	1.7	7.5	11.0	22.5	42.8	65.6	62.3	29.1	250.0
DA_E05_Jalon Alto - Piedra	1.5	0.4	0.3	0.5	0.8	2.3	3.9	6.5	12.5	19.6	17.6	8.0	73.9
DA_E08_Huerta - Aguas Vivas	1.5	0.4	0.2	0.4	0.8	2.9	7.4	15.0	21.0	29.3	26.3	9.9	115.1
DA_E09_Guadalupe Regallo	2.5	0.4	0.3	0.4	0.7	2.5	7.1	17.6	28.3	42.8	38.6	15.8	156.8
DA_E10_Matarraña	1.0	0.3	0.2	0.3	0.7	1.9	2.9	4.7	8.9	16.3	14.7	6.3	58.2
DA_E11_Ebro Delta	32.6	29.1	29.6	30.3	29.5	37.8	68.8	79.6	134.2	193.7	172.0	76.7	914.0
DA_E12_C. Auxiliar Urgell - Segre	4.2	0.5	0.2	0.2	0.9	4.1	11.1	24.7	36.4	62.6	51.8	17.9	214.7
DA_E12_Noguera Pallaresa	1.2	0.2	0.1	0.1	0.2	0.7	1.2	2.9	5.2	10.3	9.1	3.7	34.8
DA_E12_Segre Alto - C. Urgell	13.2	1.9	0.6	0.6	2.5	12.8	20.3	53.0	85.6	171.9	137.4	52.6	552.3
DA_E12_Segre Medio Bajo	4.1	0.6	0.2	0.3	0.9	3.7	7.0	13.7	18.8	31.1	25.2	11.5	117.0
DA_E13_C. Aragón Cat. 1	6.9	1.3	0.5	0.7	2.1	9.4	25.6	56.2	78.1	124.8	101.4	34.0	441.0

Anexos

DA_E13_C. Aragón Cat. 2	7.5	1.1	0.3	0.4	2.2	10.3	27.3	49.4	63.5	103.0	84.5	29.5	379.0
DA_E13_Noguera Ribagorzana Bajo	7.0	0.8	0.2	0.2	0.5	3.2	9.3	21.4	31.1	43.3	35.3	16.9	169.2
DA_E14_Alcandre Medio Bajo	0.7	0.4	0.1	0.1	0.2	1.3	9.9	29.3	18.2	24.7	21.0	6.6	112.4
DA_E14_C. Cinca	7.7	1.4	0.5	1.2	3.3	14.6	21.3	50.4	79.1	152.3	128.1	44.0	504.0
DA_E14_C. Flumen Monegros I	4.5	0.8	0.3	0.7	1.9	8.5	13.0	28.2	45.3	91.4	78.2	28.0	300.8
DA_E14_C. Monegros I - Sotón	1.0	0.2	0.1	0.2	0.4	1.7	3.1	5.6	8.8	21.7	19.7	7.5	70.1
DA_E14_C. Monegros I y II	4.2	0.8	0.3	0.7	1.8	8.0	11.2	27.1	43.6	84.1	71.0	24.3	277.1
DA_E14_Cinca Bajo	2.2	0.4	0.1	0.3	0.9	3.6	5.6	10.5	15.6	26.2	21.1	8.3	94.9
DA_E14_Gállego Bajo	2.0	0.4	0.4	0.8	2.1	6.0	10.1	16.7	30.6	57.2	49.4	18.7	194.3
DA_E15_Aragón Medio Bajo	2.6	0.6	0.3	0.5	0.9	4.4	7.5	14.5	18.6	30.7	31.3	13.6	125.5
DA_E15_Bardenas I y II	10.4	1.1	0.2	0.4	1.4	8.3	15.8	35.4	83.3	191.4	187.1	78.7	613.6
DA_E15_C. Bardenas Ret. Aragón	2.6	0.5	0.3	0.4	0.6	2.1	3.8	8.2	19.0	43.2	42.3	17.9	141.0
DA_E15_E. Arbas	0.3	0.1	0.1	0.1	0.2	1.1	2.4	4.6	7.2	11.7	9.7	3.6	41.0
DA_E16_Arga	0.4	0.2	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	1.6	6.1	8.9	10.7	3.5	32.1
DA_E16_C. Navarra	0.4	0.1	0.0	0.1	0.2	1.0	4.9	10.3	5.3	7.8	7.6	3.2	41.0
DA_E16_Ega	0.5	0.1	0.1	0.1	0.1	0.4	0.7	2.3	7.3	9.4	9.8	4.1	34.9
DA_E17_Bayas - Zadorra - Inglares	0.8	0.1	0.1	0.1	0.1	0.3	0.5	4.1	25.2	21.8	22.2	10.3	85.5
Total	157.8	49.3	38.9	47.1	70.4	211.2	392.0	766.9	1239.8	2078.0	1832.8	735.6	7619.9

Nombre Embalse	oct	nov	dic	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep
EM_E01_E. Ebro	540	540	540	540	540	540	540	540	540	540	540	540
EM_E01_E. La Loleta	96.7	96.7	96.7	96.7	96.7	96.7	96.7	96.7	96.7	96.7	96.7	96.7
EM_E02_E. Mansilla	64.3	64.3	64.3	64.3	64.3	64.3	64.3	64.3	64.3	64.3	64.3	64.3
EM_E03_E. Pajares - González Lacasa	65.8	65.8	65.8	65.8	65.8	65.8	65.8	65.8	65.8	65.8	65.8	65.8
EM_E04_E. Val	24.2	24.2	24.2	24.2	24.2	24.2	24.2	24.2	24.2	24.2	24.2	24.2
EM_E05_E. La Tranquera	82	82	82	82	82	82	82	82	82	82	82	82
EM_E08_E. Cueva Foradada - Moneva - Las Torcas	36.8	36.8	36.8	36.8	36.8	36.8	36.8	36.8	36.8	36.8	36.8	36.8
EM_E09_E. Calanda	51.9	51.9	51.9	51.9	51.9	51.9	51.9	51.9	51.9	51.9	51.9	51.9
EM_E09_E. Caspe	77.5	77.5	77.5	77.5	77.5	77.5	77.5	77.5	77.5	77.5	77.5	77.5
EM_E09_E. Santolea	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51
EM_E10_E. Peña	17.9	17.9	17.9	17.9	17.9	17.9	17.9	17.9	17.9	17.9	17.9	17.9
EM_E11_E. Mequinenza	1528	1528	1528	1528	1528	1528	1528	1528	1528	1528	1528	1528
EM_E11_E. Ribarroja	210	210	210	210	210	210	210	210	210	210	210	210
EM_E12_E. Camarasa - Terradets - Talarn	401	401	401	401	401	401	401	401	401	401	401	401
EM_E12_E. Rialb - Oliana	508	508	508	508	508	508	508	508	508	508	508	508
EM_E13_E. Barasona	84.7	84.7	84.7	84.7	84.7	84.7	84.7	84.7	84.7	84.7	84.7	84.7
EM_E13_E. Canelles - Escales	794.2	794.2	794.2	794.2	794.2	794.2	794.2	794.2	794.2	794.2	794.2	794.2
EM_E13_E. Santa Ana	229	229	229	229	229	229	229	229	229	229	229	229
EM_E14_E. Búbal - Lanuza	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80
EM_E14_E. El Grado - Mediano	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800
EM_E14_E. La Sotonera	185	185	185	185	185	185	185	185	185	185	185	185
EM_E14_E. Vadiello	15.2	15.2	15.2	15.2	15.2	15.2	15.2	15.2	15.2	15.2	15.2	15.2
EM_E15_E. Yesa	446	446	446	446	446	446	446	446	446	446	446	446
EM_E16_E. Alloz	66.4	66.4	66.4	66.4	66.4	66.4	66.4	66.4	66.4	66.4	66.4	66.4
EM_E16_E. Eugui	21.8	21.8	21.8	21.8	21.8	21.8	21.8	21.8	21.8	21.8	21.8	21.8
EM_E16_E. Itoiz	418	418	418	418	418	418	418	418	418	418	418	418

Anexos

EM_E17_E. Ullivarri - Urrunaga - Albiña	195.7	195.7	195.7	195.7	195.7	195.7	195.7	195.7	195.7	195.7	195.7	195.7
Total	7091.1	7091.1	7091.1	7091.1	7091.1	7091.1	7091.1	7091.1	7091.1	7091.1	7091.1	7091.1

Anejo 3: Embalses introducidos en el modelo con sus respectivas capacidades

Anejo 4: Capacidad de los canales introducidos en el modelo

Canal	oct	nov	dic	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	Capacidad Anual
CA_E01_Imperial.I	77.8	77.8	77.8	77.8	77.8	77.8	77.8	77.8	77.8	77.8	77.8	77.8	933.1
CA_E01_Imperial.II	77.8	77.8	77.8	77.8	77.8	77.8	77.8	77.8	77.8	77.8	77.8	77.8	933.1
CA_E01_Lodosa	75.2	75.2	75.2	75.2	75.2	75.2	75.2	75.2	75.2	75.2	75.2	75.2	902.0
CA_E01-Tauste	32.4	32.4	32.4	32.4	32.4	32.4	32.4	32.4	32.4	32.4	32.4	32.4	388.8
CA_E01_Zaragoza.II	155.5	155.5	155.5	155.5	155.5	155.5	155.5	155.5	155.5	155.5	155.5	155.5	1866.2
CA_E01_Zaragoza.III	155.5	155.5	155.5	155.5	155.5	155.5	155.5	155.5	155.5	155.5	155.5	155.5	1866.2
CA_E13_Aragón - Cataluña.I	93.3	93.3	93.3	93.3	93.3	93.3	93.3	93.3	93.3	93.3	93.3	93.3	1119.7
CA_E13_Aragón - Cataluña.II	93.3	93.3	93.3	93.3	93.3	93.3	93.3	93.3	93.3	93.3	93.3	93.3	1119.7
CA_E13_Aragón - Cataluña.III	67.3	67.3	67.3	67.3	67.3	67.3	67.3	67.3	67.3	67.3	67.3	67.3	807.7
CA_E14_Cinca - Parada	207.4	207.4	207.4	207.4	207.4	207.4	207.4	207.4	207.4	207.4	207.4	207.4	2488.3
CA_E14_Cinca - Tardienta	111.5	111.5	111.5	111.5	111.5	111.5	111.5	111.5	111.5	111.5	111.5	111.5	1337.5
CA_E14_Gállego	233.3	233.3	233.3	233.3	233.3	233.3	233.3	233.3	233.3	233.3	233.3	233.3	2799.4
CA_E14_Monegros - Albalatillo	129.6	129.6	129.6	129.6	129.6	129.6	129.6	129.6	129.6	129.6	129.6	129.6	1555.2
CA_E14_Monegros - Parada	181.4	181.4	181.4	181.4	181.4	181.4	181.4	181.4	181.4	181.4	181.4	181.4	2177.3
CA_E14_Monegros - Tardienta	233.3	233.3	233.3	233.3	233.3	233.3	233.3	233.3	233.3	233.3	233.3	233.3	2799.4
CA_E15_Bardenas.I	155.5	155.5	155.5	155.5	155.5	155.5	155.5	155.5	155.5	155.5	155.5	155.5	1866.2
CA_E15_Bardenas.II	155.5	155.5	155.5	155.5	155.5	155.5	155.5	155.5	155.5	155.5	155.5	155.5	1866.2
CA_E15_Bardenas.III	155.5	155.5	155.5	155.5	155.5	155.5	155.5	155.5	155.5	155.5	155.5	155.5	1866.2
CA_E15_Bardenas.IV	155.5	155.5	155.5	155.5	155.5	155.5	155.5	155.5	155.5	155.5	155.5	155.5	1866.2
CA_E15_Zaragoza.I	155.5	155.5	155.5	155.5	155.5	155.5	155.5	155.5	155.5	155.5	155.5	155.5	1866.2
CA_E16_Navarra	116.6	116.6	116.6	116.6	116.6	116.6	116.6	116.6	116.6	116.6	116.6	116.6	1399.7

Anejo 5: Tramos con caudal ecológico incluidos en el modelo

Tramos con caudal ecológico	oct	nov	dic	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	Qeco Anual
CR_E01_Ebro - Cubillo	1.3	1.6	1.7	1.9	1.6	1.9	2.1	2.0	1.6	1.5	1.4	1.2	20.0
CR_E01_Ebro - Miranda	26.8	25.9	26.8	26.8	24.2	26.8	25.9	26.8	25.9	26.8	26.8	25.9	315.3
CR_E01_Ebro - Puentelarra	26.8	25.9	26.8	26.8	24.2	26.8	25.9	26.8	25.9	26.8	26.8	25.9	315.3
CR_E01_Ebro - Zaragoza	80.4	77.8	80.4	80.4	72.6	80.4	77.8	80.4	77.8	80.4	80.4	77.8	946.1
CR_E02_Najerilla - Torremontalbo	6.1	6.6	7.4	7.3	6.1	6.7	7.0	7.0	5.4	4.4	3.9	4.2	71.9
CR_E04_Queiles - Tudela	0.3	0.3	0.5	0.6	0.7	0.7	0.8	0.6	0.5	0.3	0.2	0.2	5.7
CR_E04_Queilles - Tudela 2	0.3	0.3	0.5	0.6	0.7	0.7	0.8	0.6	0.5	0.3	0.2	0.2	5.7
CR_E05_Piedra - Ateca	1.6	1.5	1.6	1.7	1.5	1.6	1.8	1.8	1.8	1.6	1.5	1.5	19.3
CR_E08_Martín - Mequinenza	0.6	0.5	0.6	0.6	0.5	0.6	0.6	0.7	0.6	0.6	0.5	0.5	6.9
CR_E09_Guadalope - EE Calanda	1.1	0.9	0.9	1.0	0.9	1.0	1.0	1.1	1.0	0.9	0.9	0.9	11.5
CR_E11_Ebro - Delta	320.4	564.3	641.6	564.7	671.6	730.1	957.7	986.4	799.1	464.4	340.9	388.8	7430.2
CR_E11_Ebro - Mequinenza	38.1	49.5	56.9	55.4	53.7	56.1	60.0	58.5	46.6	35.8	29.5	29.2	569.2
CR_E12_Segre - Balaguer	10.1	9.7	9.9	9.6	8.0	9.1	9.8	11.9	10.7	9.0	8.7	8.8	115.2
CR_E12_Segre - Granja Escarpe	16.1	14.0	13.4	13.7	12.6	15.3	17.4	24.4	22.8	16.3	16.1	15.6	197.5
CR_E13_Esera - Barbastro	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	6.3
CR_E13_Noguera Ribagorzana - Corbins	4.1	3.8	3.7	3.8	3.1	3.4	3.8	4.2	4.5	3.8	3.7	3.7	45.5
CR_E14_Alcanadre - Albalatillo	2.0	1.9	2.1	2.2	1.7	1.8	1.9	1.8	1.7	1.5	1.4	1.6	21.5
CR_E14_Alcanadre - Zaidin	3.8	3.7	3.8	3.8	3.5	3.8	3.7	3.8	3.7	3.8	3.8	3.7	45.1
CR_E14_Cinca - Barbastro	1.3	1.3	1.3	1.3	1.2	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	15.8
CR_E14_Cinca - Granja Escarpe	16.7	15.0	15.4	15.7	12.1	13.7	14.4	15.9	16.6	14.6	13.6	14.6	178.2
CR_E14_Gállego - EE La Peña	1.1	1.0	0.9	0.8	0.7	0.8	0.9	1.0	1.0	0.9	0.9	0.9	10.9
CR_E14_Gállego - Zaragoza	4.0	3.8	3.9	3.9	3.1	3.4	3.6	3.7	3.6	3.2	3.0	3.3	42.3
CR_E15_Aragón - Sangüesa	7.4	8.3	11.7	12.0	10.5	12.8	14.3	14.7	13.0	12.1	10.7	10.4	137.7
CR_E15_Aragón - Villafranca	12.4	12.7	13.6	13.4	11.6	12.6	13.3	12.4	10.9	9.8	9.1	10.1	141.9

Anexos

CR_E16_Arga - Miranda	1.0	1.1	1.2	1.2	1.6	1.7	1.7	1.0	0.9	0.9	0.8	0.8	13.9
CR_E16_Ega - Calahorra	3.8	4.5	5.0	5.0	4.6	4.6	4.8	4.3	3.5	2.8	2.3	2.5	47.8
CR_E16_Irati - Sangüesa	2.4	5.0	5.5	8.3	7.3	7.5	7.3	7.7	3.3	2.4	2.4	2.3	61.5
CR_E16_Salado - Miranda	0.5	0.6	0.7	0.7	0.6	0.6	0.7	0.6	0.5	0.4	0.4	0.4	6.7
CR_E17_Zadorra - Puebla Arganzón	4.5	5.4	7.0	8.1	7.4	7.4	6.7	6.2	4.3	3.2	1.5	3.1	64.6