



Universidad
Zaragoza

Trabajo Fin de Máster

Gestión del Agua: una aplicación práctica al bajo Ebro

Autor/es

Miguel Ángel Almazán Gómez

Director/es

Dr. Julio Sánchez Chóliz

Facultad de Economía y Empresa
2015

TÍTULO: Gestión del Agua: una aplicación práctica al bajo Ebro
AUTOR: Miguel Ángel Almazán Gómez
DIRECTOR: Julio Sánchez Chóliz
TITULACIÓN: Máster en Economía
Facultad de Economía y Empresa – Universidad de Zaragoza.

RESUMEN

A nivel mundial, se estima que el impacto del cambio climático sobre la disponibilidad y calidad de los recursos hídricos, puede conducirnos a reducciones entre el 5% y el 20% del PIB (Stern, 2006) en 2100. Por ello, se promulgó la Directiva Marco Europea del Agua (DMA), en la que se establece: “es necesario asegurar los caudales ecológicos de los ríos, siendo su cumplimiento y garantía una condición ineludible de toda planificación hidrológica”. Estos Caudales ecológicos suponen una restricción importante a las cuencas que no estuvieran ya aplicando medidas en este sentido y una necesidad de distribuir las aportaciones a los caudales ecológicos entre los distintos agentes de la cuenca. El presente trabajo estudia, para el Delta del Ebro, la posibilidad de afrontar una propuesta de caudales mínimos efectuada por L’Agència Catalana de l’Aigua frente a la aprobada en el plan hidrológico nacional. Para ello, hemos realizado un análisis multisectorial de las poblaciones asociadas a los embalses de Mequinenza y Ribarroja y hemos construido un modelo hídrico sencillo. Haciendo uso de este modelo y de la Teoría de Juegos, se proponen y se evalúan también nuevas líneas de gestión.

Palabras Clave: Directiva Marco del Agua, DMA, Caudales ecológicos, Caudales mínimos, Cuenca del Ebro, Delta del Ebro, Mequinenza, Ribarroja.

ABSTRACT

Globally, it is estimated that the impact of climate change on the availability and quality of water resources, can lead to reductions ranging between 5% and 20% of GDP (Stern, 2006) in 2100. For this reason was enacted the European Water Framework Directive (WFD), which claims "it is necessary to ensure environmental flows in rivers, been their compliance an unavoidable condition for water planning." These Environmental flows are an important restriction for those basins that were not already implementing measures in this regard and also suppose a need to distribute the contributions to ensure the environmental flows between the different actors located in the basin. In this paper we address, for the Ebro Delta, the possibility to face a proposal made by L’Agència Catalana de l’Aigua about minimum flows instead of the adopted proposal by the national hydrological plan. So, we have developed a multisectoral analysis of the populations and economics associated with the Mequinenza and Ribarroja reservoirs and we have built a simple water-model. Using this model and with the help of game theory, new lines of management will be proposed and evaluated.

Key words: Water Framework Directive, WFD, Environmental flows, minimum Flows, Ebro Basin, Ebro Delta, Mequinenza, Ribarroja.

Dedicado a mi compañera y amiga. Ni este trabajo ni ningún otro hubieran sido posibles sin el apoyo que incondicionalmente me has dado. Hoy termina un ciclo pero empieza otro que también espero compartir contigo.

Quiero agradecer el apoyo recibido por el grupo de investigación CREDENAT. En especial el del director del presente trabajo, Julio Sánchez, así como el de Rosa Duarte, quienes han sido piezas clave para el desarrollo del mismo.

Agradezco además las financiaciones parciales recibidas de los proyectos ECO2013-41353-P del Ministerio español de Economía y Competitividad, del grupo consolidado S10 financiado por el Gobierno de Aragón y el Fondo Social Europeo en los años 2014 y 2015 y de un proyecto OTRI-Iberus 2015.

ÍNDICE

RESUMEN	II
ABSTRACT	II
ÍNDICE	IV
1. PRESENTACIÓN	1
2. AGUA: CONFLICTOS Y ASIGNACIONES EFICIENTES	8
2.1 Teoría de Juegos y Agua	14
2.1.1 Historia de la Teoría de Juegos	14
2.1.2 Tendencias de la teoría de juegos en la actualidad	17
2.1.3 Otras aplicaciones de la teoría de juegos al agua	18
3. ESTRUCTURA ECONÓMICA Y AGUA EN EL BAJO EBRO	20
3.1 Estructura económica	20
3.1.1 Agricultura de regadío	21
3.1.2 Actividades ganaderas	23
3.1.3 Construcción, Industria (sin producción eléctrica) y Servicios (sin turismo)	25
3.1.4 Producción hidroeléctrica	29
3.1.5 Turismo	33
3.1.6 Caracterización del empleo y estimación del PIB en la zona	36
4. MODELO HÍDRICO SIMPLE	39
4.1 Sobre los flujos necesarios en el Delta y en Tortosa	40
4.2 Un modelo sencillo de los flujos del bajo Ebro	43
4.2.1 Principales resultados de las simulaciones	49
5. APLICACIÓN DE LA TEORIA DE JUEGOS AL BAJO EBRO	56
5.1 Juegos competitivos	57
5.2 Juegos de Negociación	65
6. CONCLUSIONES	71
7. BIBLIOGRAFÍA	75

1. PRESENTACIÓN

El agua es un recurso natural escaso, indispensable para la vida y para el ejercicio de la mayoría de las actividades económicas; resulta irremplazable, irregular en su forma de presentarse en el tiempo y en el espacio, fácilmente vulnerable y susceptible de usos sucesivos. Asimismo, el agua constituye un recurso de cuya disponibilidad se desprenden, ya sea por reducción de costes o por posibilitar algunas actividades, productividades más elevadas. Es también un recurso que se renueva a través del ciclo hidrológico y que conserva, a efectos prácticos, una magnitud casi constante dentro de cada una de las cuencas hidrográficas (ver Ley de Aguas de 1985, Ley 29/1985, de 2 de agosto, de Aguas BOE núm. 189 de 8 de agosto de 1985). Sin embargo, la disponibilidad de este recurso, input imprescindible para todos los sectores económicos, se está viendo afectadas por distintas variables, obligando así a plantear soluciones que garanticen la sostenibilidad del sistema.

De esta manera, el cambio climático y la seguridad alimentaria representan amenazas y retos inminentes para el desarrollo humano y económico a muy distintas escalas. A nivel mundial, se estima que el impacto del cambio climático sobre la disponibilidad y calidad de los recursos hídricos, la producción agraria y la productividad de la tierra puede conducirnos a reducciones entre el 5 y el 20% del Producto Interior Bruto (Stern, 2006) en 2100. Por ello, dada la coyuntura actual y futura, caracterizada por el cambio climático, la revegetación y donde el medioambiente toma cada vez más protagonismo, se hace interesante evaluar la disponibilidad de agua en los cauces y estudiar el comportamiento de individuos e instituciones ante una posible reducción de la disponibilidad de este recurso acompañada incluso de un incremento en la varianza de la misma.

En este sentido, Europa ha dado un paso con el objeto de hacer del agua, y sus cauces, un recurso sostenible y que pueda atender la creciente demanda en cantidad y calidad. Así, en su Directiva Marco Europea del Agua (Directiva 2000/60/CE), en adelante DMA, establece que “es necesario asegurar los caudales ecológicos de los ríos, siendo su cumplimiento y garantía una condición ineludible de toda planificación hidrológica”. Por lo tanto, la DMA representa, desde el momento de su entrada en vigor, una restricción importante a las cuencas que no estuvieran ya aplicando medidas en este sentido y una **necesidad de distribuir las aportaciones a los caudales ecológicos entre los distintos agentes de la cuenca**. Es por ello que el presente trabajo se centrará

en evaluar y proponer, haciendo uso de simulaciones, escenarios y de la Teoría de Juegos, diversas hipótesis de gestión que garanticen el cumplimiento de los caudales ecológicos exigidos para el Delta del Ebro.

En lo que a la España peninsular se refiere, la gestión fluvial descansa en los órganos gestores de las quince cuencas que se identifican en la figura 1. Estos órganos son entidades de derecho público constituidas sobre la base física de la cuenca correspondiente y no sobre la estructura política de las regiones autónomas. En el caso de las grandes cuencas, que además abarcan más de una autonomía, el órgano gestor toma el nombre de confederación hidrográfica de dicha cuenca. Establecidas estas confederaciones como entidades de derecho público, están adscritas al Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente de España como organismo autónomo dependiente de la Secretaría de Estado de Medio Rural y Agua.

Figura 1 – Cuencas hidrográficas en España



Fuente: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Spain_River_Basins-es.png

Las funciones de dichos órganos son la gestión de los recursos del dominio público hidráulico en razón de la cuenca en donde se encuentren, la concesión de derechos de explotación de los recursos acuíferos, la construcción y planeamiento de infraestructuras hidráulicas y la gestión medioambiental de su zona, con especial atención a la preservación de los recursos y a la calidad del agua.

En relación con la Directiva Marco Europea del Agua, y con la necesidad de renovar el nuevo plan hidrológico, hemos identificado un conflicto en una cuenca que consideramos muy interesante estudiar. La cuenca en cuestión es la del Ebro, y el conflicto concerniente a la aplicación de la DMA es relativo a los caudales ecológicos propuestos por la Confederación Hidrográfica del Ebro (en adelante CHE) para el bajo Ebro.

La cuenca hidrográfica del Ebro está compuesta por seis regiones autónomas: Cantabria, Euskadi, Navarra, La Rioja, Aragón y Cataluña, sumando un total de 85.569 Km². A nivel europeo está considerada como NUT-1 y según el padrón municipal de 2013 y la CHE, abastece a 3.226.921 habitantes en un total de 1.724 municipios. Con datos de 2011, el valor añadido bruto generado en la cuenca representó el 8,17% del español, siendo su composición algo sesgada hacia el sector primario y la industria, en detrimento del sector servicios, que tan sólo representó el 60,6% frente al 70,9% nacional. La agricultura es el mayor demandante de agua en el Valle del Ebro. El regadío en el Valle implica, según estimaciones de la CHE, una demanda de agua de 7.370 hm³/año mientras que la ganadería sólo demanda la pequeña cantidad de 57 hm³/año, mientras para el resto de actividades la demanda es menor. Estas retiradas de agua son muy importantes en términos relativos (pensemos que los flujos anuales medios de los últimos 30 años en Tortosa, último punto de medición, justo antes del Delta del Ebro, son de 9.234 hm³/año).

Los elevados volúmenes de la demanda agraria, con usos altamente consuntivos, la demanda para usos hidroeléctricos, las demandas de las demás actividades económicas, los requerimientos de los importantes núcleos poblaciones e industriales (Zaragoza, Tarragona,...), así como los requerimientos medioambientales (caudales ecológicos) hacen que las disponibilidades de agua se acerquen a su niveles máximos, generando una fuerte presión sobre el recurso y la intensificación de la competencia entre usos alternativos. Más aún, las previsiones climáticas apuntan a una intensificación de los problemas de oferta del recurso, por lo que es de esperar un aumento en las presiones sobre el mismo. En este contexto, el estudio de sistemas de gobernanza, la investigación de criterios alternativos de gestión y reparto agua resulta crucial.

Con respecto a los caudales ecológicos para el Delta, los mínimos fijados por el actual plan hidrológico (CHE 2014), han sido puestos en tela de juicio por L'Agència Catalana de l'Aigua (ACA, 2007), (en adelante ACA), órgano que surgió en 1998² y que se encarga de la gestión de las Cuencas Internas de Cataluña. La ACA estima que los 95,6 metros cúbicos por segundo, en media, fijados como caudal ecológico en Tortosa, último punto de control previo a la desembocadura, no resultan suficientes para garantizar la conservación de los ecosistemas. Así pues, desde la ACA se ha realizado una propuesta de caudales mínimos que supera en mucho los fijados en el actual plan hidrológico del Ebro y los proyectados para 2016-2021 en el nuevo plan hidrológico del Ebro aún en revisión.

Por todo lo anterior, nos disponemos en el presente trabajo a analizar y valorar los costes y beneficios que las citadas alternativas suponen, proponiendo alternativas a la gestión actual y estimando también los beneficios de las mismas.

Para ello, y a petición de la CHE, haremos recaer la parte empírica del presente trabajo sobre el tramo bajo del Ebro, que comprende las tierras en los somontanos bajos y en el fondo del valle, a ambas orillas del río, y que van desde la cabecera del embalse de Mequinenza hasta el Delta. A pesar de su proximidad al río, algunos son lugares que se han podido aprovechar poco de su condición ribereña. Quedan dentro de este tramo, por tanto, los embalses de Mequinenza, Ribarroja o Flix situados sobre el curso del Ebro, pero también la parte inferior de las sub-cuencas del Matarraña y Guadalupe, toda la parte de la cuenca situada en Tarragona, el área de las provincias de Huesca y Lleida próximas a la desembocadura conjunta del Cinca y del Segre y, en particular, el Delta del Ebro. Un territorio que actúa como una bisagra entre dos de los ejes económicos más dinámicos de la economía española, el mediterráneo y el del Ebro, pero que ha quedado desvinculado de su crecimiento a pesar de contar con abundancia de uno de los recursos más escasos para ambos.

Para evaluar la disponibilidad del recurso, hemos construido un modelo hídrico sencillo. Este modelo toma en cuenta las mediciones de las estaciones de aforo proporcionadas por la CHE a través del SAIH (Sistema Automático de Información Hidrológica), <http://195.55.247.237/saihebro/index.php>, mostrando por tanto las entradas y salidas

² Legislativamente esta empresa pública fue creada el 31 de diciembre de 1998 a través de la Ley 25/1998, aunque no fue hasta enero del año 2000 cuando se celebró su primer consejo de Administración. El órgano surgió como fusión entre la Junta de Saneamiento y la Junta de Aguas, manteniendo los quehaceres de ambas empresas.

que se producen en los embalses, así como el nivel de los mismos. Por otro lado, vista la disponibilidad, falta por observar los usos, trabajo laborioso de recopilación e interpretación estadística. En nuestro caso la dificultad se ve agravada por ser el tramo bajo del Ebro un espacio que incluye áreas de tres provincias y dos comunidades autónomas diferentes. Las estadísticas y los cálculos realizados, que se examinarán más adelante y se podrán ver con detalle en los anexos, muestran un claro sesgo de la economía del valle hacia el sector primario, lo que pone de manifiesto la importancia del agua en estas tierras.

El modelo hídrico que hemos planteado para evaluar el posible cumplimiento de los caudales ecológicos, busca, con los datos antes mencionados, que nos proporciona la disponibilidad del recurso en unos puntos determinados, minimizar el número de meses en los que los caudales no se cumplen. Este objetivo nos permitirá evaluar el nivel de cumplimiento y en qué grado las distintas alternativas que se proponen son capaces de cumplir con los objetivos. El modelo a su vez mostrará, mes a mes, el esfuerzo hídrico que debería asumir cada embalse en cada alternativa, representado éste por la cota.

Las simulaciones obtenidas con dicho modelo, así como los resultados obtenidos para diversos escenarios, las completaremos con instrumentos de la teoría de juegos. Todo ello nos permite cuantificar y valorar las asignaciones o cuotas que cada embalse destina o puede destinar a garantizar los caudales ecológicos, observando así, que el statu quo actual, en el que el embalse de Mequinenza es por sí solo el único participante de los costes que estos caudales mínimos representan, es un equilibrio natural o forzado del juego. Este equilibrio, que ya a simple vista puede verse como un equilibrio poco justo, puede ser consecuencia de diferentes poderes de negociación entre Mequinenza y el resto de embalses del tramo bajo de Ebro, o de una valoración inexacta de los costes de oportunidad. Y es que, el embalse de Mequinenza es con mucho el más grande en volumen de los existentes en el tramo bajo, lo que puede llevar a pensar que el desembalse desde éste es menos costoso, y con toda probabilidad, monetariamente así es. Sin embargo, las oscilaciones en los niveles a las que se está exponiendo el embalse tienen efectos negativos que van mucho más allá de los financieramente cuantificables (de forma más precisa, de los que usualmente se estiman financieramente).

Las oscilaciones en los niveles se transforman en alejamientos de la línea de agua, semejante a una playa cuando baja la marea, pero en este caso mucho más abruptas y sabiendo que la marea no subirá al día siguiente. En estas condiciones, la línea de agua

puede desplazarse más de un kilómetro, dejando en este espacio lodazales y balsas de agua estancada que convierten a las orillas en espacios poco agradables para establecer segundas residencias o para el ocio, incluso generando en ocasiones condiciones poco salubres por bancos de mosquitos. Además todo ello supone un grave deterioro del hábitat para los peces del allí cohabitan.

Hemos, por tanto, de tener en cuenta los costes de oportunidad que estas variaciones, pueden tener en sentidos tan diversos como la posibilidad de desarrollar un sector turístico, las garantías que se ofrecen al sector primario, o inclusive los costes ambientales y ecológicos entre otros. Una vez tengamos estos costes en cuenta, será cuando podamos dar una valoración más objetiva y precisa de cada posible equilibrio y de la justicia que cada uno de estos entraña. Este trabajo es una primera aproximación en esta línea.

A este respecto, debemos también mencionar que la definición de reparto o asignación óptima dependerá siempre del prisma, del punto de vista, y de la condición de quien lo observa, padece o sufre. Motivo este por el que, no nos centraremos en maximizar una función objetivo, pues este método no tendría por qué conducirnos a una asignación justa, requisito que consideramos inexcusable para determinar que un reparto es óptimo. En este sentido, hemos elegido analizar la optimalidad de los resultados obtenidos del modelo hídrico que planteamos, no sólo en base al cumplimiento de la restricción que suponen los caudales ecológicos, sino también en base a la justicia que subyace en las hipótesis de gestión que nos conducen al cumplimiento. Por ello nos hemos apoyado además de en la lógica sin más, en la lógica contenida en la teoría de juegos.

En lo que a la teoría de juegos se refiere, propondremos, asumiendo que la varianza en los niveles afecta negativamente al bienestar de los individuos y ecosistemas, una función de utilidad que penaliza la varianza así como los niveles que bajan de los que hemos supuesto son niveles ideales o con coste nulo. El análisis, basado en las simulaciones realizadas con el modelo antes mencionado, nos dará, para unas determinadas hipótesis de gestión, unas utilidades asociadas para cada embalse; utilidades que trataremos como pagos del juego.

En base a la teoría de juegos, existen distintas maneras de afrontar un conflicto como el presente. Podría analizarse el conflicto mediante juegos competitivos, juegos de negociación o incluso juegos cooperativos. Nosotros, en la parte final de la tesina, hemos trabajado con las dos primeras, obteniendo resultados y conclusiones muy parejas. Sin embargo, manejar la presente situación como si de un juego cooperativo se tratara conlleva dificultades adicionales que requieren más trabajo, por lo que este punto queda pendiente, convirtiéndose en una línea futura de investigación.

La parte final del trabajo, tras haber analizado los distintos escenarios a través de las simulaciones del modelo y de la teoría de juegos, son las conclusiones y recomendaciones finales, así como la evaluación de cuales pudieran ser las ampliaciones del modelo, y las líneas de investigación que se pueden seguir a partir de este trabajo.

2. AGUA: CONFLICTOS Y ASIGNACIONES EFICIENTES

La asignación eficiente y óptima de los bienes comunes, es un área importante y muy estudiada en economía. La lógica de que el egoísmo personal puede llevar a la destrucción de los bienes comunes, un secreto a voces puesto de manifiesto por Garrett Hardin (Hardin, 1968), se enfrenta, por lo menos cuando el recurso común es el agua, a la realidad puesta de manifiesto por las comunidades de regantes, las cuales operan desde mucho antes que Hardin hiciera sus exposiciones, datando la más antigua de la que se tiene constancia alrededor del año 200 AC (Sagardoy et al, 2001). Otro ente que desafía lo expuesto por Hardin es el tribunal de Aguas de Valencia, también con una antigüedad superior a los 1.000 años, si no el mismo tribunal, sí su proceder, ya que éste es heredado de organizaciones que datan de los tiempos de Al-Andalus³. Aun así, ciertamente, los seres humanos somos egoístas, pero la existencia de organismos comunales que velen por la renovabilidad del recurso, no va en contra de esta afirmación, pues garantiza en el largo plazo⁴ la fuente, en este caso de ingresos de cada uno de los regantes (Ostrom, 1990).

Podría parecer según el texto anterior que no existieran conflictos en lo referente al agua, pero nada más lejos de la realidad. El agua dulce es un recurso natural y escaso para el que no hay sustituto, y por ello los problemas del agua no se limitan a un análisis coste beneficio, sino que también derivan de los aspectos sociales y de la política (Madani, 2010). El agua, como todo recurso natural, no entiende de banderas: Los ríos conforman fronteras, y atraviesan distintos países, obligando a estos a entenderse para la gestión de esa cuenca. Es en estos casos, cuando las cuencas no están en su totalidad bajo una misma insignia, cuando los choques pueden hacerse más patentes y persistentes. Como ejemplo podemos tomar uno de los conflictos por el agua más conocido y probablemente más estudiado: el de la cuenca del Jordán. Israel ha tomado posiciones, que se podrían considerar estratégicas de cara al control de la cuenca, en varias incursiones (Atwi y Sanchez-Chóliz, 2011). Por otro lado, puede entenderse el agua como un conductor al entendimiento en el largo plazo, teniendo como ejemplos lo ocurrido en el Mekong, con la creación de un comité para la gestión de la cuenca, o la comisión del Amazonas (Wolf, 1998). Otros ejemplos, en este caso a niveles subnacionales, de conflictos motivados por el agua son los producidos en India (río

³ Para más información ver <http://www.tribunaldelasaguas.org/es/el-tribunal/historia>

⁴ Los juegos repetidos permiten explicar muchas de estas conductas en el largo plazo bajo condiciones de interés individuales.

Cauvery)⁵, California, donde los agricultores llegaron incluso a destruir un canal destinado a la ciudad de Los Ángeles, y en el río Colorado, donde en 1934 el estado de Arizona envió agentes a detener una presa (Fredkin, 1981).

Pero, ¿Hasta dónde puede llegar un conflicto por el agua? ¿Es viable una guerra por el agua? El agua es un recurso natural que podemos considerar barato en algunas regiones, pero, como hemos mencionado antes, debemos tener en cuenta que es un recurso sin sustitutos y necesario para la vida. Por estas dos razones cabe pensar que en regiones caracterizadas por su aridez, y en las cuales preexistan ya tensiones políticas internacionales, como en Oriente Próximo y Oriente Medio, las guerras por el agua son más factibles. Tanto es así, que las mayores tensiones políticas e incluso las denominadas “guerras del agua” vienen a centrarse en el Jordán, en el Nilo, y, aunque con menos intensidad, en América del Sur (Remans, 1995). Para responder a la pregunta que nos hacíamos vamos a recurrir a palabras de Homer-Dixon (Homer-Dixon, 1994), quien, poniendo como ejemplo el conflicto Árabe-Israelí, “califica el agua dulce como *“el recurso renovable más probable de provocar una guerra”*. Es más, siete son los conflictos internacionales asociados directamente al agua; muy pocos en comparación con los más de 3.600 tratados internacionales referentes a este recurso (Wolf, 1998).

Aunque podrían interpretarse como propagandas, documentos desclasificados de EEUU han revelado que el agua nunca fue un objetivo prioritario en las guerras entre árabes e israelí. Idea apoyada por el comentario recogido en Wolf (1995), de quien fuera responsable de la planificación a largo plazo de la invasión del Líbano por parte de las fuerzas armadas de Israel, que afirmó que *“por el precio de una semana de lucha se podrían construir cinco plantas de desalinización”*. Sin embargo, tres de los siete conflictos asociados al agua se le atribuyen a Israel, quien a lo largo de estos conflictos ha conseguido controlar por completo la cuenca del Jordán.

⁵ El conflicto por el agua del río Cauvery es probablemente el conflicto subnacional más largo que se conoce. Las disputas durante más de 20 años entre dos regiones indias, Tamil Nadu y Karnataka, obligó al gobierno a establecer un tribunal de aguas para el río Cauvery. Este tribunal dictaminó en 2007, 16 años más tarde de su creación, las concesiones y usos para cada región, sin embargo, a fecha de hoy las regiones implicadas continúan presentando propuestas y alegaciones.

Wolf (Wolf, 1998) hace referencia a que la mayoría de los tratados sobre el agua utilizan paradigmas no basados en el derecho, ni en la hidrografía, ni en la cronología de uso, sino en las necesidades específicas de regadío, de la población, u otros requisitos de un proyecto concreto. Y es que, cada cuenca, y cada problema tienen características diferentes, y por tanto deben ser afrontados de manera diferente.

Dada la existencia de conflictos, sean estos armados o no; mayores o menores; de índole internacional, regional o incluso local; se hace necesario buscar métodos de asignación eficientes y justos, entendiendo por justicia que sean aceptados por todos o casi todos, y que a todos favorezcan. Los criterios totalmente objetivos son, en realidad, no alcanzables o no deseables, ya que la justicia que suscita de estos no siempre se atiene a las necesidades sociales.

En lo que se refiere a cuencas internacionalmente compartidas existen criterios de asignación desarrollados por la Asociación de Derecho Internacional a partir de las Reglas de Helsinki. Estos criterios, que pasan a enumerarse, han sido recogidos y analizados para la cuenca de Jordán (Atwi y Sánchez-Choliz, 2011):

- | | |
|--------------------------------------|------------------------------------|
| 1- Geografía | 6- Población de cada país |
| 2- Hidrología | 7- Capacidad de pago |
| 3- Clima | 8- Disponibilidad de otras fuentes |
| 4- Uso histórico del agua | 9- Daño significativo |
| 5- Necesidades económicas y sociales | |

Como puede verse, algunos criterios conducirían a un porcentaje invariante en las asignaciones. Estos son el primero y el cuarto, “Geografía” y “Uso histórico del agua”; Los otros, aun no calificables como invariantes, conllevarían una baja, muy baja, o nula, variabilidad asociada, aunque unos más que otros.

El criterio de “Geografía” se basa en el porcentaje de tierra del que cada país es “propietario” dentro de la cuenca. Lo hemos definido como invariante aunque esto no es del todo cierto, y no será porque la cuenca se desplace geográficamente, sino por la existencia de guerras y territorios conquistados que en una fecha pertenecen a un país y en otra pertenecen a otro distinto. Sin embargo hemos querido identificarlo como invariante porque entendemos que la Asociación de Derecho Internacional establecería los usos pre-conflicto cuando alguno hubiera tenido lugar.

Los criterios dos y tres, “Hidrología” y “Clima”, llevarán a asignaciones muy parejas. Serán seguramente los que conllevarían más variaciones en los repartos, pues se deberían identificar con todas las aportaciones que cada país o región hace a la cuenca, o sólo con las derivadas de la pluviometría, dependiendo de si elegimos uno u otro.

El enumerado como cuarto criterio, “Uso histórico del Agua”, lo hemos definido como un criterio invariante, y es que este criterio representa las asignaciones que se vinieran haciendo anteriormente. Atendiendo a este criterio, las asignaciones establecidas en un primer momento, perduraran en el tiempo, independientemente de las necesidades. Por nuestra parte, juzgamos este criterio como justo sólo en el caso que las asignaciones a priori así lo fueran y las necesidades permanecieran en el tiempo invariantes o en similares proporciones.

Los criterios que quedan por repasar, tienen una base más económico-social y son por tanto más variables, aunque desde nuestra perspectiva también son los más justos. De hecho, uno de los criterios en el que radica la justicia que nosotros buscamos es el quinto criterio de los que se enumeran, pues éste atiende a las necesidades económicas y sociales. Debemos destacar también que las necesidades hídricas deben ser valoradas en el largo plazo, para que así las asignaciones aporten estabilidad. Motivo por el cual nos debemos atener a estimaciones de crecimiento y a la subjetividad que deriva de las distintas maneras de medir las necesidades sociales.

También a estimaciones pero no por ello a una objetividad mucho menor, debemos resignarnos si el criterio que quisiéramos aplicar fuera el que hemos denominado como criterio seis, “Población de cada país”. En este caso, el dato del país entero, nos llevaría a sobrestimar las necesidades cuando no todo el país perteneciera a la cuenca, pero tomando la población perteneciente al conjunto de unión entre país y cuenca, tendríamos un criterio que en el caso de países con el mismo nivel de desarrollo, podríamos valorar como justo, pues las necesidades per cápita serían similares.

El criterio “Capacidad de pago”, enumerado en séptimo lugar, atiende en parte a las posibles necesidades de actuación en la cuenca (infraestructuras), y también a las necesidades hídricas, correlacionadas positivamente con el nivel de desarrollo y por tanto con la capacidad de pago.

Un criterio quizá poco objetivo, pues débil es la objetividad de las valoraciones que puedan hacerse de las fuentes de un recurso, pero que bajo nuestro prisma tiene en cuenta las necesidades y por ello suscita en él la justicia social, es el que hemos numerado como octavo, “Disponibilidad de otras fuentes”.

Por último, nos queda por hablar del noveno criterio, “Daño significativo”. Este criterio, desde nuestro punto de vista, con añadidura de los posibles daños medioambientales, se asemejaría en el cálculo al quinto criterios, motivo por el cual es el consideramos más justo. Y es que, las “Necesidades económicas y sociales” identifican la cantidad del recurso que cada país necesita, pero estas necesidades llevan asociado un coste, sea éste monetario o social, en caso de que las necesidades no se satisfagan. Si entendemos que los costes medioambientales forman parte del coste social, tendremos que las asignaciones que deriven del quinto criterio serán muy semejantes a las de éste.

Los criterios son objetivos tanto como objetivos sean los cálculos que a ellos nos conducen. Los que dependen exclusivamente de datos geográficos o climatológicos son desde el punto de vista de quien escribe, criterios de una objetividad indudable pero de una justicia dudosa. Habrá quien entienda que la justicia radica en estos ámbitos, pero nosotros no podemos calificar como justo lo que, pudiendo hacerlo, no contempla las necesidades humanas y sociales. Por otra parte, hemos visto que los criterios en los que la objetividad no se da de manera tan cierta, son en los que subyace una mayor justicia, pues estos criterios, de alguna forma, atienden a las necesidades de la sociedad, y no al capricho geográfico, climatológico y/o político.

Como ya trasluce la descripción de los criterios, dependiendo del elegido, los repartos asignados serán diferentes. Es por ello que, la existencia de criterios que conducen a tan diversas soluciones de reparto, e incluso la de uno que representa el *statu quo*, constituye en sí mismo un problema y facilita en poco o en nada la resolución de conflictos.

Dejando a un lado la Asociación de Derecho Internacional y los criterios de reparto por ésta propuestos, debemos mencionar que la resolución de conflictos asociados al agua ha preocupado también a otros campos profesionales, entre los que destaca la economía. En este sentido, se observa que el interés en la resolución de los conflictos referentes a los recursos hídricos se ha incrementado en gran medida en los últimos años (Dinar, 2004), quedando patente por la creciente proposición de metodologías para establecer asignaciones óptimas. Ejemplo de esto son (Kilgour et al, 1996) y (Hipel, 1997), quienes se apoyan en los Modelos Gráficos de Resolución (GMCR); (Thiessen y Loucks 1992), y (Thiessen 1998) utilizaron los Sistemas de Apoyo a la Negociación Asistidos por Ordenador (ICANS); Massound (2000) el mecanismo del ganador Ajustado (AW); y Fisher et al (2002), nos presentan una herramienta denominada “Water Allocation System (WAS).

Todos estos trabajos y metodologías tienen un gran componente informático: por ejemplo ICANS es un programa de ordenador en el que cada parte introduce información de manera confidencial, esta información es tratada por el programa, y este ofrece alternativas equivalentes y que se suponen óptimas a partir de la información dada; GMCR y su sucesor GMCRII, este último con análisis de coaliciones, también son software dedicado a la resolución de conflictos, en este caso con la teoría de juegos como trasfondo. Se aprecia por tanto que el desarrollo y crecimiento exponencial que ha tenido la informática en los últimos 30 años, ha permitido plantear diversas alternativas para establecer asignaciones óptimas.

Pero nunca deberíamos olvidar que un conflicto social, con intereses individuales en juego, requiere de “política” e instituciones. Por nuestra parte, en lo que a repartos óptimos se refiere, y como veremos más adelante, entendemos que la informática a través de las simulaciones y el análisis de escenarios así como la teoría de juegos pueden ser grandes aliados. Estos dos instrumentos nos permitirán analizar las estrategias y respuestas que los agentes toman en el caso de estudio que abordaremos identificando incluso sus porqués; a la vez nos permitirán analizar los resultados derivados de la cooperación, permitiendo así su comparación con los resultados que se pudieran derivar de actuaciones individualistas.

Es por ello que nosotros planteamos en lo que sigue un modelo de asignaciones eficientes y óptimas que analizaremos mediante simulaciones informáticas así como con algunos instrumentos de la teoría de juegos.

2.1 Teoría de Juegos y Agua

Muy utilizada en economía, la Teoría de Juegos es un área de las matemáticas que, mediante estructuras formalizadas denominadas juegos, permite el estudio de las interacciones y decisiones mediante la búsqueda de estrategias óptimas y del comportamiento previsto que éstas implican. En el presente punto, veremos la historia de la teoría de juegos, y como ésta, dedicada al estudio de las interacciones y los procesos de decisión, ha evolucionado en los últimos años. Quedará patente la importancia que la Teoría de Juegos ha adquirido para los economistas en los últimos años y como se está aplicando con objeto de identificar los repartos óptimos, pudiendo así, ser de gran utilidad en la resolución de conflictos relacionados con el agua.

2.1.1 Historia de la Teoría de Juegos

John Von Neumann y Oskar Morgenstern, (Neumann y Morgenstern, 1944), quien se encargó de convencer al primero de que la teoría de juegos podía aplicarse a la economía⁶, son los padres y quienes dieron nombre y primera forma a la Teoría de Juegos. No obstante, anteriormente a este trabajo ya se habían publicado trabajos que tienen que ver con el campo de la Teoría de Juegos. En ocasiones se atribuye la primera aparición de la teoría de juegos a Waldegrave, quien en una carta datada en 1713 y enviada a Mr. Montmort planteó lo que a posteriori se conocerá como criterio minimax o prudente. Sin embargo, antes de esta fecha ya se habían propuesto soluciones que luego estarían identificadas con repartos propios de la Teoría de Juegos. En el Talmud babilonio, escrito siglos anteriores a nuestro año cero, se exponen repartos a las viudas de un mismo hombre que responden a las soluciones del nucleolo, aunque cierto es que los repartos se expresan como ejemplos, sin especificación del cálculo (Walker, 2005).

Mucho más cercano a nuestras fechas es la solución teórica que ofrece, la que se considera la primera aparición significativa de la teoría de juegos en la literatura económica. Ésta vino de la mano del matemático y economista Agustín Cournot (Cournot, 1838), quien publicó una solución de equilibrio en el reparto del mercado en caso de un duopolio.

⁶ Fundamentos de los juegos competitivos y cooperativos ya fueron establecidos por von Neumann en su artículo de 1928 (Von Neumann, 1928), en él introdujo las formas extensivas a los juegos, los vectores de pagos, y demostró el teorema del minimax. El trabajo fue bien recibido por la comunidad científica pero no tuvo continuidad en los años siguientes ni impacto exterior relevante.

En lo que respecta a resolución de conflictos y asignaciones eficientes menciono especial merecedor Edgeworth (Edgeworth, 1881), quien, sin intención alguna de resolver un juego y apoyándose en las curvas de utilidad, plantea una solución para una economía de dos individuos y dos bienes, estableciendo lo que conocemos como curva de contrato, de cuya generalización nace el concepto de núcleo utilizado en la Teoría de Juegos.

En el ya citado libro de 1944, von Neumann y Morgenstern expusieron los juegos de suma cero y sus teorías y nociones sobre juegos cooperativos, con transferencias de utilidad y la formación de coaliciones. Además establecieron axiomas referentes a la utilidad lo que abrió las puertas a la economía. El momento histórico hace que estas ideas se difundan y se apliquen tanto en desarrollos teóricos de la economía como en cuestiones aplicadas, especialmente en el terreno de la actividad empresarial.

Por ello, a partir de esta fecha, las publicaciones en las que se habla o utiliza la Teoría de Juegos, crece a mayor ritmo. Por este motivo, de aquí en adelante hablaremos de las contribuciones más relevantes.

Como dato curioso y relevante a la vez, hablaremos, pues así toca, del dilema del prisionero. Expuesto por primera vez en 1950, como parte de un experimento llevado a cabo en la Rand Corporation⁷ por Melvin Dresher y Merrill Flood, este dilema muestra la importancia de la Teoría de Juegos a la hora de predecir situaciones derivadas de acciones que se llevarán a cabo por más de un agente.

Cuando hablamos de Teoría de Juegos, hay un nombre que nos viene inmediatamente a la cabeza: John Nash. Éste matemático fue galardonado con el premio Nobel, entre otros, en 1994 por sus contribuciones a la Teoría de Juegos. Las contribuciones las hizo entre 1950 y 1953, de las que destacaremos la demostración de la existencia de equilibrios para juegos no cooperativos (Nash, 1950), el establecimiento de axiomas en lo que respecta a la negociación (Nash, 1950:2), y sus aportaciones a la resolución de juegos cooperativos (Nash, 1953) y no cooperativos (Nash, 1951).

Sin embargo, en lo que a juegos cooperativos se refiere, dos son los referentes principales: Gillie (Gillie, 1953), con la definición de núcleo, y Shapley (Shapley, 1953), quien establece, mediante lo que ahora conocemos como valor de Shapley, franjas de valores de reparto aceptables dentro de las coaliciones formadas. En este sentido, y sin intención de restar importancia al núcleo de un juego, hemos de decir que

⁷ <https://es.wikipedia.org/wiki/RAND>

el método de reparto de Shapley, a pesar de que no exista núcleo, siempre nos proporciona una solución.

En 1959 Aumann (Aumann, 1959) introduce el concepto de equilibrio fuerte de Nash (SNE, por sus siglas en inglés), indicando que este se da cuando ninguna coalición cambiando de estrategia podría mejorar a todos sus miembros.

Para principios de los años sesenta quedaron las extensiones de la Teoría de Juegos que contempla la utilidad no transferible y la búsqueda de los repartos óptimos en estos, mediante el núcleo y la generalización de la curva de contrato de Edgeworth que plantearon Debreu y Scarf (Debreu y Scarf, 1963).

Hasta mediados de década no llegaría la definición de subjuegos y los equilibrios perfectos en subjuegos. Esta aportación se la debemos a Selten (Selten, 1965), quien compartió el Nobel en economía de 1994 con Nash y Harsanyi

Ya en la segunda mitad de esta provechosa década, aparecieron dos nuevos conceptos: el de “*Equilibrio Balanceado*”, que se lo debemos a Scarf (Scarf, 1967), y los “*juegos de información incompleta*” o con jugadores bayesianos, que en este caso debemos agradecer a Harsanyi (Harsanyi, 1967–1968).

Schmeidler (Schmeidler, 1969) realiza la primera definición de nucleolo, del cual advierte que existe para cualquier juego, incluso si el núcleo del mismo está vacío.

En los años setenta la teoría de juegos se abre a otros campos. De la mano de Maynard (Maynard, 1972) entra a formar parte de las técnicas de estudio del comportamiento animal y de la evolución. Este artículo nos trae otro nuevo concepto, Estrategia evolutivamente estable (ESS), que coge fuerza con la publicación de Maynard y Price’s (Maynard y Price’s, 1973).

Es en 1975 cuando Kalai y Smorodinsky (Kalai y Smorodinsky, 1975) publican una solución que satisface los axiomas de la eficiencia de Pareto, la simetría, la no variación de las transformaciones lineales de la utilidad y la monotonía.

A partir de estas fechas, la Teoría de Juegos continua avanzando, pero ya no a pasos de gigante. Los logros que siguen, derivan de las aplicaciones empíricas y de la consolidación como rama fundamental para el estudio del comportamiento y las decisiones.

Las aplicaciones empíricas más destacadas, sobre todo por su premura, son las de Littlechild y GF Thompson (Littlechild y Thompson, 1977), quienes aplican el concepto de nucleolo a la asignación de las tasas de aterrizaje, y Roth (Roth, 1984), quien comprobó que se estaba aplicando el criterio de núcleo en la evolución del mercado de trabajo de médicos internos y residentes.

En 1988, Harsanyi y Selten (Harsanyi y Selten, 1988) publicaron un libro en el que se recogen los criterios para la selección de puntos de equilibrio, tanto para juegos cooperativos como para juegos no cooperativos.

Lo que sigue son los reconocimientos en forma de premios Nobel que han tenido los investigadores de la teoría de juegos. Ya hemos mencionado el Nobel compartido de Nash, Harsanyi y Selten en 1994 por su *“análisis pionero de los equilibrios en juegos no cooperativos”*. Sin embargo, dos premios Nobel más quedan asociados a la Teoría de Juegos: el de Aumann y Schelling en 2005 por *“mejorar la comprensión del conflicto y la cooperación a través del análisis de la teoría de juegos”*, y el de Roth y Shapley en 2012 por *“la teoría de las asignaciones estables y la práctica del diseño del mercado”*.

2.1.2 Tendencias de la teoría de juegos en la actualidad

En la actualidad, los trabajos referentes a la teoría de juegos suelen venir acompañados de otras herramientas o implican alguna modificación en algún concepto. En esto, el pionero fue Maynard (Maynard, 1972, 1973), quien incluyó el concepto de la evolución en la teoría de juegos. En las dos últimas décadas, la teoría de juegos evolutiva, ha captado la atención de varios economistas, dado que permite no asumir la racionalidad perfecta para analizar el comportamiento humano. Incluso, hay investigadores que bajo este esquema se atreven a cuestionar que el estudio en exclusiva de la racionalidad perfecta ayude a comprender el comportamiento humano (Matsui, 1996).

La creciente aplicación de esta metodología y de algunas derivas suyas se la debemos a Weibull (Weibull, 1995). Pues este trabajo estableció un marco de referencia y un punto de apoyo importante para esta rama de la teoría de juegos. Publicaciones muy actuales, utilizan este marco para definir las estrategias o el entorno; algunas relacionadas con el agua (Madani, 2014; Parsapour-Moghaddam et al, 2015). Estos artículos, de los que se hablará más adelante, hacen uso del reforzamiento por aprendizaje y de la heurística respectivamente.

2.1.3 Otras aplicaciones de la teoría de juegos al agua

Visto queda que la teoría de juegos puede aplicarse a la resolución de conflictos y que el agua puede ser foco de conflictos. No es de extrañar entonces que la teoría de juegos se haya aplicado en la resolución de conflictos o en la búsqueda de asignaciones óptimas del agua. La literatura acerca de los juegos cooperativos y el agua es extensa (Abed-Elmdoust et al, 2012; Nikoo et al 2012; Liao et al 2013, por ejemplo), al igual que extensa es la que trata sobre los juegos no cooperativos y el agua (Atwi, 2011; Madani, 2010; Kerachian, 2010; Rafipour-Langeroudi et al, 2014).

La teoría de juegos divide éstos en tres grandes grupos, competitivos, de negociación y por último los juegos cooperativos. En el Anexo 0 se hace un resumen pormenorizado de los tres tipos de juegos y de algunos de los juegos más característicos así como de sus aportaciones a esta ciencia. En lo que sigue, comentaremos algunos trabajos dedicados al agua en los que de alguna manera se ha trabajado con la Teoría de Juegos.

Un ejemplo de aplicación práctica de los juegos cooperativos al agua viene de la mano de Dinar y Howitt (Dinar y Howitt, 1997), quienes además de mostrarnos la aplicación empírica de los test⁸ sobre la aceptabilidad y estabilidad de un equilibrio en los juegos cooperativos, nos enumeran dos grandes motivos por los que es preferible la cooperación cuando se tratan costes de control medioambiental: El primero las economías de escala, y el segundo la internalización de externalidades. Este paper puede ser un guion a la hora de distribuir costes y a la hora de evaluar la estabilidad y aceptabilidad de equilibrios en los juegos cooperativos.

Los usos de agua consuntivos convierten al agua consumida en un bien semiprivado, entendiéndose por tal, que si alguien la consume, esta no puede ser consumida por otro. Por tanto, cabe la posibilidad de preguntarse si el agua en conflicto es un juego de suma cero. Como podemos ver en Atwi y Sánchez-Chóliz (2011), paper donde se trabaja en base a los juegos de negociación, el agua no es un juego de suma cero. Si tratamos el agua como un input, al igual que la mayoría de recursos, tiene rendimientos decrecientes. Esto hace que la utilidad o pago que recibe un jugador sea creciente con la disponibilidad del recurso, pero los aportes que éste hace a dicha utilidad son cada vez menores. Luego el reparto adecuado entre diferentes agentes da más rendimientos globales que las asignaciones individuales que concentran más el agua y llevan a usos con menores rendimientos marginales.

⁸ Estos test son los expuestos en el apartado correspondiente a la teoría de juegos cooperativos del anexo0.

Otro trabajo en el que se mezclan teoría de juegos y agua es el de Wei et al (Wei et al, 2010), donde proponen, en relación con un proyecto de trasvase del sur al norte de China, un juego competitivo en su forma extensiva para asignar la distribución de agua y las contribuciones a la reducción de su contaminación. Esto lo hacen recurriendo a métodos de valoración económica y regresores econométricos para calcular los pagos a los agentes.

Un trabajo cercano en tiempo, en espacio y temática al presente, es el de Sechi y Zucca (Sechi y Zucca, 2013). En este trabajo los autores se proponen utilizar los juegos de negociación para determinar los repartos de agua que se corresponderían con el núcleo y compararlos con los actuales. La parte empírica recae sobre el sistema de abastecimiento del sur de Cerdeña, Italia. En este trabajo se concluye que la teoría de juegos es una herramienta útil para realizar asignaciones de agua cuando los usos son competitivos.

Más cercano en el tiempo, aunque no en el espacio, es el trabajo de Parsapour-Moghaddam (Parsapour-Moghaddam, 2015), el cual utiliza una variante de la ya mencionada Teoría de Juegos Evolutiva, la Teoría de Juegos Evolutiva y la Heurística. Haciendo recaer la parte empírica del trabajo sobre el “Great Karoon River” en Iran. Dado un conjunto de estados del entorno y otro conjunto de acciones por agente, se determinan unas reglas. El agente, sujeto a las reglas debe maximizar su objetivo eligiendo las acciones a tomar cada vez que se enfrente a un estado del entorno. La acción que elija vendrá determinada por el entorno y por el resultado obtenido en las veces anteriores que se enfrentó a la misma situación.

Otra publicación reciente que mezcla teoría de juegos y agua es la de Madani y Hooshyar (Madani y Hooshyar, 2014). En ésta, los autores plantean las asignaciones óptimas para tres embalses en un sistema hidráulico en el que el único uso que contemplan es el hidroeléctrico. Para ello, además de un modelo hídrico sencillo, los autores plantean el concepto de “teoría de juegos reforzada por aprendizaje” (GT-RL), del cual se obtienen los valores de las coaliciones. Este concepto, inspirado en la psicología conductista y en los procesos de decisión de Markov, es otro método usado de optimización basado en la simulación. Tras las simulaciones y los cálculos, Madani y Hooshyar encontraron que el método de reparto de Shapley, al igual que Nash-Harsanyi, y nucléolo, proporcionó asignaciones contenidas en el núcleo.

3. ESTRUCTURA ECONÓMICA Y AGUA EN EL BAJO EBRO

La parte empírica del presente trabajo recae sobre el tramo bajo del Ebro, como ya señalábamos en la introducción. En este apartado, por un lado describiremos la estructura económica del territorio para evaluar los usos del agua, mientras que por otro evaluaremos la disponibilidad del recurso y si existe agua sobrante para hacer frente a los caudales ecológicos propuestos por la ACA.

La respuesta, como se demuestra más adelante, es negativa, puesto que los usos a día de hoy del agua del tramo bajo del Ebro son competitivos.

3.1 Estructura económica

Analizar la estructura productiva de un territorio, aun cuando este sea pequeño, es una tarea ardua en términos de recopilación estadística así como de tratamiento e interpretación de los mismos. En nuestro estudio, además esta dificultad se agrava porque el tramo bajo del Ebro abarca áreas diversas, con diversas especializaciones tanto intersectorial como intrasectorial, y dos fuentes estadísticas diferentes como son el IAEST y el IDESCAT.

No obstante, esta parte del trabajo se hace imprescindible para poder anticipar los posibles escenarios futuros, conocer los consumos hídricos y estimar los impactos, tanto económicos como sociales, de las alternativas propuestas.

En este sentido buscaremos aportar datos cuantitativos para los sectores y actividades más relacionados con el agua, como son la agricultura de regadío, la ganadería, la producción eléctrica y los servicios de ocio y turismo. De estas actividades hemos obtenido estimaciones de sus ingresos, del empleo, del valor añadido, de la productividad aparente del agua y del consumo de que ésta hacen. Mostrando con este último dato, la viabilidad y la competitividad de las demandas. Estos datos, en especial la demanda de agua, junto con los que obtengamos después a partir del modelo hídrico, que nos mostrará la disponibilidad del recurso, nos permitirán analizar diversos escenarios.

Por simplicidad y claridad, en los siguientes puntos de este apartado nos apoyaremos en tablas resumen que sintetizan la información más relevante para cada uno de los sectores, pudiendo siempre recurrir a los anexos, donde se explica con detalle la obtención y fuente de los datos.

3.1.1 Agricultura de regadío

Por lo que respecta a la agricultura de regadío en la zona de estudio, se asume que en su totalidad se realiza mediante la toma directa de los embalses o del Ebro, implicando siempre mermas en la disponibilidad del agua superficial, ya que es residual la superficie regada con aguas subterráneas. Por este motivo sólo se han tenido en cuenta para los cálculos las superficies con autorización y acceso al agua de los embalses, con intención de no sobrevalorar las mermas asociadas a este sector. Estas superficies están identificadas en los anexos A9 y A10 para Mequinenza y Ribarroja respectivamente. La tabla 1 muestra el resumen de los resultados hallados para la agricultura de regadío, mientras que el detalle de los cálculos y estimaciones puede verse en el anexo A2

Tabla 1: Datos básicos sobre el regadío

	Mequinenza	PEBEA*	Total PEBEA*	Ribarroja
Hectáreas totales	19.667	30.333	50.000	17.275
hm³ totales	136	207,46	343,46	130,18
Ingreso total agregado	78.283.646 €	120.737.581 €	199.021.227 €	85.774.468 €
ingreso medio por ha	3.980 €	3.980 €	3.980 €	4.965 €
Ingreso por hm³	575.615 €	581.980 €	579.460 €	658.910 €
VAB total agregado	45.013.097 €	69.424.109 €	114.437.205 €	49.320.319 €
VAB por ha	2.289 €	2.289 €	2.289 €	2.855 €
VAB por hm³	330.979 €	334.639 €	333.189 €	378.873 €

* Para la estimación de las has restantes del PEBEA se ha mantenido el VAB por ha.

Se presentan estimaciones para tres conjuntos de regadío: Los ya existentes y que se abastecen del embalse de Mequinenza (primera columna), los correspondientes al PEBEA, proyectados pero aún no ejecutados en Mequinenza (segunda columna), y por último, los regadíos que toman el agua del embalse de Ribarroja (cuarta columna). Representando la tercera columna la estimación de las cifras totales que se derivarían de la total implantación del plan PEBEA.

Para las estimaciones hemos tenido en cuenta productividad por hectárea y consumos hídricos diferentes para cada cultivo, así como el número de hectáreas dedicadas a cada cultivo y los precios de los últimos cinco años. Las eficiencias en los sistemas de regadío se han supuesto distintas según el método de riego, llevándonos a unos niveles medios muy próximos al 70%. Esta eficiencia es a fecha de hoy muy elevada en comparación con estudios realizados en riegos próximos, como por ejemplo Riegos del alto Aragón, quienes tienen una eficiencia próxima al 60%.

La tabla nos muestra que en la actualidad, el regadío asociado a estos dos embalses supone una retirada de la cuenca de 266 hectómetros cúbicos, 136 del embalse de Mequinenza y 130 del de Ribarroja. Aunque, como podemos ver en la segunda y tercera columna, las retiradas del embalse de Mequinenza deberán aumentar hasta un total de 343 hm³ a medida que se vayan concediendo los regadíos aprobados en el PEBEA. En total, el agua comprometida con el regadío entre los dos embalses sumaría con el tiempo los 480 hm³ si se mantienen las eficiencias estimadas.

Los datos sobre rendimientos agrarios sólo son accesibles a escala provincial. En consecuencia, para el cálculo de los ingresos y del valor añadido hemos supuesto los rendimientos de la provincia de Zaragoza. En base a esta información hemos estimado un Valor Añadido por hectárea de regadío de entre 2.000 € y 3.000 €, siendo superior en los abastecidos desde Ribarroja. Los cálculos también nos han llevado a observar una productividad aparente del agua mayor en Ribarroja que en Mequinenza, dando lugar a 379.000 € y 330.000 € por hm³ respectivamente.

En base a las estimaciones puntuales, las hectáreas abastecidas desde Ribarroja son un 25% más rentable que las abastecidas desde Mequinenza. Sin embargo, el Hm³ tan sólo es un 15% más rentable, lo que nos muestra que los cultivos regados desde Ribarroja son más consuntivos a la par que más rentables. Ante estas cifras cabe preguntarse ¿por qué entonces en Mequinenza no utilizan el mismo mix de cultivo?, ¿por qué en Mequinenza buscan cultivos menos consuntivos? Pues bien, a nuestros ojos, estos porqués, tienen su respuesta en el nivel del embalse. Mientras en Ribarroja el nivel medio de los últimos diez años está tan sólo medio metro por debajo del máximo, en Mequinenza este nivel está a 6 metros por debajo del nivel máximo, ocasionando de esta manera mayor gasto por la elevación, motivo que incluso se agrava si atendemos a las cotas mínimas alcanzadas por los embalses: La de Ribarroja es de 67'6, tan sólo 2,4 metros por debajo del máximo nivel, mientras que Mequinenza alcanzó a finales del año 2012 la cota más baja de los últimos 10 años, 100'32, 20 metros por debajo de la cota máxima, e incluso 5 metros por debajo de las tomas de regadío. Por lo tanto, hemos de concluir que el coste del agua, derivado de su coste de elevación, es más alto en Mequinenza que en Ribarroja.

Los cálculos y la productividad aparente del agua, podríamos haberlos tratado en términos de coste de oportunidad, en este caso comparando con los rendimientos del secano. Sin embargo, la incertidumbre asociada a los riesgos climatológicos, especialmente los de sequía prolongada, nos han apartado de esa idea.

3.1.2 Actividades ganaderas

Cataluña, y en particular las provincias de Lleida y Girona fueron pioneras en el desarrollo de la ganadería intensiva avícola, porcina y bobina en los años del desarrollismo, cuando España necesitaba alimentar a una población urbana creciente, importando esta práctica de Estados Unidos. Más tarde, la franja de Huesca y la comarca turolense del Mataraña absorbieron el *know-how*. Sin embargo, en el Bajo Aragón, a pesar de su proximidad, la ganadería intensiva se encuentra todavía en una etapa incipiente, pudiendo suponer un eje estratégico para el desarrollo.

En el análisis de la actual importancia de la ganadería y escenarios futuros hemos seleccionado los municipios a estudiar conforme a los siguientes criterios:

- Se asocian con cada embalse las poblaciones cuyo término municipal pertenezca o tenga ribera con dicho embalse, así como las que tienen toma directa, sean éstas para uso de regadío, industriales o de abastecimiento.
- De lo anterior se excluye el municipio de Fraga, que aunque ribereño del embalse de Mequinenza destacamos: Las tierras próximas al embalse de Mequinenza son exclusivamente de secano. A lo que añadimos que el regadío y la actividad ganadera que en Fraga se da, se asocia básicamente al Cinca.

De acuerdo con la información disponible de las tomas (Anexo A9), existe una toma prevista en Mequinenza para la Mancomunidad Turolense para la Elevación de Aguas del Ebro (MTEAE), de ahora en adelante “MT”. Esta mancomunidad está constituida con el objeto de abastecer las poblaciones turolenses de Albalate del Arzobispo, Alcorisa, Allorza, Andorra y Ariño, siendo su uso previsto principalmente industrial y residencial. Este proyecto, a pesar de estar planteado hace ya más de diez años, y de haberse iniciado y concluido alguna de sus fases, no tiene previsto que la elevación vaya a producirse en fechas cercanas. Por este motivo, aplicando un criterio prudente, hemos diferenciado las posibles situaciones en nuestras previsiones. Las poblaciones que se incluyen con relación a la ganadería en el presente estudio son las relacionadas en la tabla 2.

Tabla 2: Municipios estudiados con relación a la ganadería

Embalse de Mequinenza	Caspe	
	Chiprana	
	Escatrón	
	Mequinenza	
	Sástago	
	Mancomunidad Turodense (MT)	Albalate del Arzobispo
		Alcorisa
		Allorza
		Andorra
		Ariño
Embalse de Ribarroja	Almatret	
	Batea	
	Fayón	
	La Fatallera	
	La Granja d' Escarp	
	La pobla de massaluca	
	Ribarroja	
	Serós	
	Torrente de Cinca	
	Villalba dels Arcs	

Tabla 3: Datos básicos de la producción ganadera de la zona (datos en €)

		Producción estándar total (PET)	Nº total de explotaciones agrarias	Nº de explotaciones con ganado	% de explotaciones ganaderas	Producción asociada a la ganadería	VAB Ganadero	Consumo anual de agua(hm ³)	VAB / hm ³
Embalse de Mequinenza	sin MT	104.696.855	1.262	213	17%	62.532.387	19.460.079	1,165	16.708.186
	con MT	126.011.552	2.468	322	13%	94.532.528	29.418.523	1,325	22.197.823
Embalse de Ribarroja		-	1774	145	8%	42.568.996	13.247.471	0,795	16.668.954
Total sin MT		-	3.036	358	12%	105.101.383	32.707.550	1,959	16.692.274
Total con MT		-	4.242	467	11%	137.101.524	42.665.994	2,120	20.125.205

La tabla siguiente, tabla 3, muestra los principales resultados referidos a la actividad ganadera de los municipios ya citados. En esta tabla encontramos estimaciones del valor añadido de cada zona, así como del consumo hídrico estimado, datos que nos llevarán a una estimación de la productividad aparente del agua en la ganadería. Esta información más desagregada y ampliada puede verse en el anexo A3. Para la elaboración de dicha tabla y anexo ha sido fundamental la información de los censos agrarios y las estadísticas municipales disponibles en el Instituto Aragonés de Estadística (IAEST) para las poblaciones aragonesas y en el Instituto de Estadísticas Catalanas (IDESCAT) para las catalanas.

Se puede observar en la tabla 3 que las retiradas de agua que representa la ganadería son mínimas en comparación con las de la agricultura. En total, y aun asumiendo la puesta en marcha del proyecto MT, los consumos actuales se reducen a poco más de 2 hm³, frente a los más de 265 hm³ del regadío. En esta contabilidad no hemos tenido en cuenta el agua incorporada en los pastos y forrajes consumidos por las distintas cabezas de ganado, cosa que engrosaría la suma. Otros contras como por ejemplo externalidades negativas tales como contaminación de tierras y acuíferos, deterioro de entornos, etc. estigmatizan la ganadería. Sin embargo, interiorizando estas externalidades y aprovechando la cercanía de los cultivos, creemos que un mayor desarrollo ganadero es una alternativa factible y una vía de creación de negocio y empleo (empresas de gestión de recursos, construcción de establos, supervisión y gestión de la contaminación, etc.). La baja intensidad en el uso, como también pasará en otros sectores, nos lleva a productividades aparentes del agua muy elevadas, entre 40 y 50 veces superior a la obtenida en el regadío. Por su parte, la actividad ganadera tiene un impulso en lo que a creación de empleo se refiere, mucho mayor y más estable, gracias a su reducida estacionalidad, que la agricultura. A estos empleos, deben sumarse los de sectores o actividades vinculadas, que también suelen ser numerosos, generando un impacto económico potencial importante.

3.1.3 Construcción, Industria (sin producción eléctrica) y Servicios (sin turismo)

La construcción depende de la demanda de nuevas viviendas por motivos demográficos, por su atractivo como lugar de ocio, o como inversión para alquiler. Sin embargo, el crecimiento demográfico de los municipios a tener en cuenta es bajo, nulo o inclusive negativo, al igual que baja es la demanda de alquileres tanto para vivienda habitual como vacacional. Por su parte, la vertiente del ocio está ya satisfecha, en lo que a construcción se refiere, con los múltiples campings existentes en la zona, en combinación con los apartamentos, hoteles y restaurantes también ya existentes. Por estos motivos, la demanda es escasa en las tres dimensiones consideradas.

En lo que respecta a la industria, de la que excluimos por el momento la producción de energía eléctrica, debemos destacar que, a pesar de ser ésta una zona sita entre dos distritos industriales importantes como son la química del Campo de Tarragona y el denso distrito industrial de Zaragoza, lo cierto es que sólo podemos destacar un pequeño reducto de industria textil y química.

El sector servicios, excluyendo el turismo, ya que se analizará más en detalle, se reduce a la venta al detalle, los servicios de reparación, los profesionales y financieros y los fundamentalmente públicos: los vinculados con la sanidad, educación y ayudas a personas dependientes. A pesar de que los servicios orientados al turismo tienen un gran peso, el resto del sector servicios también lo tiene. Además, aporta estabilidad, dada su menor estacionalidad, siendo un apoyo importante para el crecimiento.

Para cuantificar la producción y los valores añadidos hemos tomado como base los datos de empleo, disponibles en el anexo A6 y los rendimientos medios por trabajador, obtenido de las tablas Input-Output de Aragón (Pérez y Parra, 2009). Los resultados para el valor añadido se recogen en la tabla 4⁹. Usando coeficientes obtenidos de Flores (2008), podemos deducir los consumos hídricos asignados a las actividades anteriores. Hemos recogido las estimaciones de uso y las productividades aparentes del agua en las tablas 5 y 6 respectivamente.

En la tabla 5 se puede apreciar que los usos de agua de la industria (excluyendo la producción hidroeléctrica), de la construcción y de los servicios no turísticos es en la mayor de las alternativas de unos 5 hm³, cantidad que dobla los consumos de la ganadería pero también muy lejos de los consumos de la agricultura de regadío, que eran ya de unos 265 hm³ y que podían llegar a los 500 hm³. No deberíamos olvidar tampoco que mientras los retornos de agua de la agricultura son bajos, mucho más bajos cuanto más eficiente es el riego, los de la industria y servicios son elevados. El problema por tanto de estos usos no es su volumen, sino su calidad, la contaminación que pueden generar (tengamos en cuenta la situación del embalse de Flix, núcleo caracterizado por su industria química) y la disponibilidad de infraestructuras de distribución y depuración.

De una sencilla división entre los datos de la tabla 4 y los de la tabla 5 podemos obtener la estimación de la productividad aparente del agua en los mencionados sectores. Estos datos son los mostrados en la tabla 6. De esta tabla cabe destacar la alta productividad en estos sectores en comparación con la agricultura o la ganadería, ya que en estos sectores el agua es necesaria pero en cantidades muy pequeñas, siendo el resto de inputs los que conforman el grueso.

⁹ Los datos obtenidos han sido ajustados por PIB per cápita comarcal y por empleo en el resto de sectores.

Tabla 4: Estimación del Producto Total (PT) y Valor Añadido Bruto (VAB) por municipios y sectores

			Industria (sin Hidroeléctrica)	Construcción	Servicios (no Turismo)	SUMA	
Embalse de Mequinenza	Caspe	Producto Total	41.289.285 €	12.256.685 €	65.502.605 €	119.048.575 €	
		VAB	13.007.106 €	5.331.094 €	39.770.547 €	58.108.747 €	
	Chiprana	Producto Total	259.638 €	423.301 €	1.134.527 €	1.817.466 €	
		VAB	53.039 €	184.037 €	690.179 €	927.255 €	
	Escatrón	Producto Total	11.720.651 €	5.089.037 €	7.681.842 €	24.491.530 €	
		VAB	3.846.526 €	2.213.412 €	4.805.355 €	10.865.293 €	
	Mequinenza	Producto Total	53.234.397 €	5.500.771 €	16.172.231 €	74.907.399 €	
		VAB	18.823.416 €	2.392.505 €	9.867.911 €	31.083.831 €	
	Sastago	Producto Total	4.623.461 €	8.137.591 €	20.816.395 €	33.577.447 €	
		VAB	1.167.914 €	3.539.237 €	12.690.925 €	17.398.076 €	
	TOTAL EM sin MT	Producto Total	111.127.432 €	31.407.384 €	111.307.601 €	253.842.417 €	
		VAB	36.898.000 €	13.660.285 €	67.824.917 €	118.383.202 €	
	Mancomunidad Turolese	Albalate del Arzobispo	Producto Total	212.096 €	10.003.390 €	30.119.767 €	40.335.254 €
			VAB	65.373 €	4.350.807 €	18.292.835 €	22.709.015 €
		Alcorisa	Producto Total	4.236.848 €	23.931.430 €	36.473.602 €	64.641.881 €
			VAB	1.517.534 €	10.408.548 €	22.189.253 €	34.115.336 €
		Alloza	Producto Total	179.565 €	11.418.410 €	10.003.524 €	21.601.498 €
			VAB	71.408 €	4.966.244 €	6.241.960 €	11.279.612 €
		Andorra	Producto Total	25.458.190 €	82.633.825 €	138.473.068 €	246.565.083 €
			VAB	10.735.850 €	35.940.179 €	84.483.327 €	131.159.357 €
Ariño		Producto Total	1.026.430 €	10.553.872 €	15.349.938 €	26.930.240 €	
		VAB	444.412 €	4.590.229 €	9.357.979 €	14.392.621 €	
Total MT		Producto Total	31.113.129 €	138.540.926 €	230.419.900 €	400.073.955 €	
		VAB	12.834.578 €	60.256.008 €	140.565.354 €	213.655.940 €	
Total con MT	Producto Total	31.113.129 €	169.948.310 €	341.727.500 €	653.916.372 €		
	VAB	12.834.578 €	73.916.293 €	208.390.271 €	332.039.142 €		
Embalse de Ribarroja	Almatret	Producto Total	142.240.561 €	4.355.776 €	5.858.946 €	17.451.574 €	
		VAB	49.732.578 €	1.896.044 €	3.564.334 €	7.823.316 €	
	Batea	Producto Total	7.236.852 €	5.023.563 €	7.327.200 €	77.256.112 €	
		VAB	2.362.937 €	2.186.156 €	4.456.592 €	27.855.617 €	
	Fayon	Producto Total	64.905.350 €	582.377 €	1.153.688 €	7.464.752 €	
		VAB	21.212.868 €	253.279 €	701.639 €	2.827.048 €	
	La fatallera	Producto Total	7.116.881 €	3.187.952 €	6.632.620 €	16.937.453 €	
		VAB	2.325.618 €	1.386.269 €	4.033.949 €	7.745.836 €	
	La Granja de Scarp	Producto Total	4.235.722 €	6.982.692 €	8.871.408 €	20.089.822 €	
		VAB	1.383.206 €	3.035.832 €	5.393.949 €	9.812.988 €	
	La pobla de Massaluca	Producto Total	34.853 €	5.736.813 €	4.379.827 €	10.151.493 €	
		VAB	11.389 €	2.495.114 €	2.663.957 €	5.170.459 €	
	Ribarroja	Producto Total	149.853 €	42.284.704 €	35.020.373 €	77.454.930 €	
		VAB	48.968 €	18.391.015 €	21.300.366 €	39.740.349 €	
	Serós	Producto Total	830.556 €	12.083.292 €	13.595.006 €	26.508.854 €	
		VAB	271.483 €	5.255.442 €	8.268.834 €	13.795.759 €	
	Villalba dels arcs	Producto Total	218.019 €	8.005.406 €	9.457.282 €	17.680.707 €	
		VAB	71.252 €	3.481.810 €	5.752.173 €	9.305.234 €	
	Torrente del Cinca	Producto Total	145.988 €	9.488.871 €	6.846.538 €	16.481.398 €	
		VAB	39.441 €	4.127.015 €	4.164.281 €	8.330.737 €	
Total ER	Producto Total	90.602.759 €	97.731.445 €	99.142.888 €	287.477.093 €		
	VAB	29.599.293 €	42.507.976 €	60.300.074 €	132.407.343 €		
Total sin MT	Producto Total	201.730.192 €	129.138.830 €	210.450.489 €	541.319.510 €		
	VAB	66.497.294 €	56.168.261 €	128.124.991 €	250.790.545 €		
Total con MT	Producto Total	232.843.321 €	267.679.756 €	440.870.388 €	941.393.465 €		
	VAB	79.331.872 €	116.424.268 €	268.690.345 €	464.446.485 €		

Tabla 5: Estimación de consumos hídricos por municipios y sectores*

	Municipio	Consumo Hídrico (m ³)				
		Industria (excepto Hidroeléctrica)	Construcción	Servicios (excepto Turismo)	TOTAL	
Embalse de Mequinenza	Caspe	41870	6678	9180	57728	
	Chiprana	1781	817	545	3142	
	Escatrón	5835	1918	582	8335	
	Mequinenza	18720	3055	3102	24877	
	Sástago	13929	9164	9288	32381	
	Total EM sin MT (hm ³)		0,082	0,022	0,023	0,126
	Mancomunidad Turodense	Albalate del Arzobispo	15144	729863	543785	1288792
		Alcorisa	12256	89292	32535	134083
		Alloza	10024	209642	35689	255354
		Andorra	740941	333874	181387	1256202
		Ariño	13759	1001621	539816	1555196
	Total MT (hm ³)		0,792	2,364	1,333	4,490
Total EM con MT (hm ³)		0,874	2,386	1,356	4,616	
Embalse de Ribarroja	Almatret	541	249	84	874	
	Batea	10828	639	233	11700	
	Fayon	5955	462	229	6646	
	La fatallera	2599	888	462	3948	
	La Granja de Scarp	650	817	259	1726	
	La pobla de Massaluca	217	27176	4984	32376	
	Ribarroja	325	69881	13902	84108	
	Serós	4548	50469	13640	68657	
	Villalba dels arcs	3465	97056	27542	128064	
	Torrente del Cinca	1228	89292	15476	105996	
	Total ER (hm ³)		0,030	0,337	0,077	0,444
Total sin MT (hm ³)		0,112	0,359	0,100	0,571	
Total con MT (hm ³)		0,905	2,723	1,433	5,060	

* Los totales fila están calculados en hectómetros cúbicos

Tabla 6: Productividad aparente del Agua (VAB generado por hm³)

	Territorio	Industria (excepto Hidroeléctrica)	Construcción	Servicios (excepto Turismo)	Promedio ponderado
Embalse de Mequinenza	Total EM sin MT (hm3)	449.975.615 €	620.922.036 €	2.948.909.419 €	939.549.221 €
	Mancomunidad Turodense	16.205.275 €	25.489.005 €	105.450.378 €	47.584.842 €
	Total EM con MT (hm3)	56.902.263 €	30.979.167 €	153.680.141 €	71.932.223 €
Total Embalse de Ribarroja (hm3)		986.643.115 €	126.136.427 €	783.117.847 €	298.214.737 €
Total sin MT (hm3)		593.725.838 €	156.457.550 €	1.281.249.909 €	439.212.864 €
Total con MT (hm3)		87.659.527 €	42.755.883 €	187.501.986 €	91.787.843 €

3.1.4 Producción hidroeléctrica

La producción hidroeléctrica requiere, a pesar de no resultar consuntiva, que el agua embalsada en un determinado lugar, sea desembalsada. Por tanto, la existencia de compromisos hidroeléctricos convierte un hecho no consuntivo en un hecho sinónimo, de similares o iguales consecuencias, para quienes de dicho embalse se abastecen. Por este motivo, siendo el sector hidroeléctrico el mayor demandante de agua, como veremos, incluso por encima del regadío, hemos decidido excluirlo del estudio previo para analizarlo en detalle en este punto.

Dado que el sector eléctrico es un sector complicado de investigar y del que los datos de producción y valor añadido no son de fácil acceso a nivel desagregado, hemos realizado nuestras estimaciones en base a la altura del salto, la potencia instalada, el volumen turbinado y los precios de la electricidad.

Las tablas 7 y 8 muestran las estimaciones de producción precios e ingresos respectivamente. Las estimaciones teóricas asumen como premisa que las centrales hidroeléctricas tienen una actividad aproximada, a plena potencia, del 20%. Este es el nivel de actividad característico del Valle del Ebro en centrales hidroeléctricas. No obstante como puede verse en el anexo A5, la central de Ribarroja parece superar claramente ese nivel, al disponer de agua en exceso, mientras que Mequinenza está algo por debajo de él. Esto supone que trabajan alrededor de 1.700 horas al año a plena potencia, aunque realmente turbinan más tiempo pero a potencia no máxima. Además, no debemos olvidar que su eficiencia técnica tampoco es del 100%, lo que implica que trabajan más de las horas estimadas como de plena potencia.

En la tabla 7 vemos que las centrales más significativas por potencia son las de Mequinenza y Ribarroja, representando la de Flix menos de un quinto de las otras. De ahí que la estimación de su producción sea también mucho menor, aun cuando turbine con un uso de 400 m³/s. En este caso la producción de Flix supondría entre el 10% y el 15% de la producción de Mequinenza. En ello influye decisivamente la altura del salto de agua. En esta misma tabla apreciamos que los usos en Mequinenza, en relación con las entradas, son los más elevados, pues están por encima del 76% de éstas, lo que pone de manifiesto que está probablemente en los límites de su disponibilidad. En consecuencia, todos los usos a partir de Mequinenza son competitivos con los usos hidroeléctricos, aunque sean volumétricamente mucho menores.

Tabla 7: Estimaciones teóricas de producciones y usos teóricos de la producción eléctrica

	Nivel del salto (metros)	Potencia instalada (Kw)	Volumen teórico turbinado (hm ³)*	% de turbinación sobre entradas	Producción en el 20% del tiempo (Gw-h)	Estimación de la producción real (Gw-h)
Mequinenza	55	324.000	4.796	76%	568,04	536,52
Ribarroja	34	262.800	5.680	60%	460,74	523,75
Flix con 75 m³/s	12	42.500	473	3,57%	15,46	11,60
Flix con 400m³/s	12	42.500	2.525	19,02 %	82,47	61,85

* La vía de estimación utilizada puede llevar a infravalorar el volumen turbinado

Tabla 8: Precios e ingresos (en €) por hm³ en las centrales de los distintos embalses

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total	
Precio mínimo	0,00	0,00	0,00	2,98	12,00	7,00	23,58	32,00	35,10	10,00	5,99	2,30		
Precio máximo	96,30	110,00	113,92	50,00	72,90	69,99	64,02	65,03	76,96	99,77	90,00	72,69		
Precio medio aritmético	33,62	17,12	26,67	26,44	42,41	50,95	48,21	49,91	58,89	55,11	46,80	47,47		
Precio mixto	54,51	48,08	55,75	34,29	52,57	57,30	53,48	54,95	64,91	70,00	61,20	55,88		
% prod mensual	6,96	11,89	10,77	10,20	13,60	9,59	11,22	7,08	4,49	3,58	5,80	4,82	100,00	
Mequinenza	Ingreso mensual medio	252,34	219,35	309,63	290,76	621,72	526,83	582,98	381,05	285,13	212,91	292,57	246,42	4.221,70
	Ingreso mensual mixto	409,15	616,03	647,28	377,12	770,71	592,46	646,71	419,53	314,29	270,42	382,59	290,06	5.736,37
	VA mensual medio	125,33	108,95	153,79	144,42	308,80	261,67	289,56	189,26	141,62	105,75	145,32	122,40	2.096,87
	VA mensual mixto	203,22	305,98	321,49	187,31	382,80	294,27	321,21	208,38	156,11	134,32	190,03	144,07	2.849,18
Ribarroja	Ingreso mensual medio	155,99	135,60	191,41	179,74	384,34	325,68	360,39	235,56	176,26	131,62	180,86	152,33	2.609,78
	Ingreso mensual mixto	252,93	380,82	400,14	233,13	476,44	366,25	399,78	259,35	194,29	167,17	236,51	179,31	3.546,12
	VA mensual medio	77,48	67,35	95,07	89,28	190,89	161,76	179,00	117,00	87,55	65,37	89,83	75,66	1.296,24
	VA mensual mixto	125,63	189,15	198,74	115,79	236,64	181,91	198,57	128,81	96,50	83,03	117,47	89,06	1.761,31
Flix	Ingreso mensual medio	55,06	47,86	67,56	63,44	135,65	114,95	127,20	83,14	62,21	46,45	63,83	53,77	921,10
	Ingreso mensual mixto	89,27	134,41	141,22	82,28	168,16	129,26	141,10	91,53	68,57	59,00	83,47	63,29	1.251,57
	VA mensual medio	27,35	23,77	33,55	31,51	67,37	57,09	63,18	41,29	30,90	23,07	31,71	26,70	457,50
	VA mensual mixto	44,34	66,76	70,14	40,87	83,52	64,20	70,08	45,46	34,06	29,31	41,46	31,43	621,64

Por el contrario, el porcentaje de uso en Ribarroja es menor, lo que indicaría que la central de este embalse se encuentra, probablemente, con exceso de disponibilidad. Esto se confirmaría con la producción real, que está bastante por encima de la producción teórica a plena potencia en el 20% de tiempo, que es la media de producción de las centrales hidroeléctricas del Valle del Ebro. Por tanto, no habrá rivalidad con otros usos que tomen el agua de Ribarroja, y tampoco la competencia con los regadíos que toman el agua de Mequinenza será probablemente relevante, estos supondrían como máximo una reducción de unos 350 hm³ en sus entradas, lo que haría simplemente que los usos hidroeléctricos sobre entradas pasaran del 60% al 62 %.

Lo mismo puede decirse de Flix; su disponibilidad de agua es tan elevada, que no hay problemas de competencia con otros usos. Más aún, podría ser razonable que se incrementara en el futuro la potencia instalada en las centrales del embalse. Si no se ha hecho todavía, probablemente se deba a la actual estructura de producción y distribución de la energía eléctrica en España y también, sin duda, a la situación coyuntural de baja rentabilidad en estos momentos; ambos hechos han llevado a que haya ahora en España un exceso de potencia de generación instalada.

La tabla 8 recoge una tentativa de estimar rendimientos por hm³ turbinado. Se usan dos precios para los cálculos, el medio mensual obtenido en el mercado diario y lo que llamamos precio mixto, que es un precio ponderado del medio y del máximo, con ponderaciones de 2/3 del medio y 1/3 del máximo. Se recurre a éste para captar en alguna forma el hecho de que las centrales hidroeléctricas funcionan en muchas ocasiones para cubrir horas de alta demanda, en las cuales el precio de la energía es más alto. La obtención del valor añadido se hace a partir del coeficiente de valor añadido bruto a precios básicos sobre producción a precios básicos del sector “Energía eléctrica” de la tabla simétrica de Aragón 2005, Pérez y Parra (2009).

Observamos en la tabla 8, en primer lugar, las diferentes rentabilidades según el embalse. Los valores añadidos a precio mixto son 2.849 €, 1.761 € y 622 €, diferencias que son debidas principalmente a la altura del salto. La alta rentabilidad de Mequinenza, frente a las otras dos, hace que la sustitución de turbinación en Mequinenza por la de las otras centrales no sea automática; cada hm³ de Mequinenza requiere aproximadamente 1,5 de Ribarroja y más de 4 de Flix.

Se ha de subrayar, además, que estas rentabilidades aparentes en VA son mucho menores que las obtenidas con el regadío, que pueden verse en la tabla 1. El ratio de VA obtenido para usos de regadío y para hidroeléctricos en Mequinenza es de 116, de 215 en Ribarroja y de unos 600 para Flix (se emplea la rentabilidad del regadío de Ribarroja al no tener otra estimación mejor). Todo esto hace que no se puedan excluir por no eficientes los usos de agua para regadío, aunque en su valoración deban tenerse en cuenta otros factores, en particular las inversiones que requiere el regadío frente a las inversiones precisas por las centrales, tanto en el momento de su construcción como en su mantenimiento.

Podemos también tener en cuenta lo siguiente: Mequinenza es el primer embalse en el curso del río, seguido de Ribarroja, al que le sigue Flix, por lo tanto, para calcular el coste de oportunidad de turbinar un hm^3 en Mequinenza, frente a no turbinarlo por motivos consuntivos, debemos sumar el valor de ese hm^3 en los tres embalses, puesto que se supone, en el mejor de los casos, será turbinado en los tres embalses. En el caso de Ribarroja, el coste de oportunidad será la suma del VA que éste pueda generar también en Flix. Aun así, la productividad aparente del agua en el regadío es muy superior a la hidroeléctrica, en este caso en Mequinenza 63 veces mayor y en Ribarroja 159, manteniéndose la de Flix en 600.

Otra alternativa para el uso del agua, la que parece más eficiente, ya que en Ribarroja hemos encontrado productividades mayores en el regadío, podría ser turbinar en Mequinenza y hacer uso del agua para regadío en Ribarroja, sin embargo, visto queda que el agua en Ribarroja no falta, y que si no se hace uso de más agua para regadío en este embalse es simplemente por la falta terreno regable y rentabilidad, por este motivo esta opción no se valora.

3.1.5 Turismo

El turismo en las poblaciones que rodean los embalses de Mequinenza y Ribarroja están fuertemente asociado a éstos, dependiendo por tanto de las condiciones de los embalses: instalaciones, nivel de agua, autorizaciones, etc. De esta manera tenemos que, en la zona, oferta hotelera y campings se orientan principalmente hacia la pesca.

Para obtener la información de establecimientos se ha recurrido a los datos disponibles en el IAEST e IDESCAT. En la tabla 9 se recogen los datos de establecimientos y plazas de alojamiento desglosados por tipo de alojamiento, municipio y embalse.

Nótese que en este caso el municipio de Mequinenza se asocia con el embalse de Ribarroja, y es que la actividad turística de este municipio, puesta de manifiesto por el emplazamiento de sus alojamientos y la ubicación de su núcleo urbano, no recae sobre el embalse homónimo, sino sobre el de Ribarroja. De esta manera, el embalse de Mequinenza se explota turísticamente desde Caspe, donde se ubica el único camping asociado a este embalse, Chiparana, Escatrón y Sástago.

Tabla 9: Establecimientos y plazas de alojamiento en la zona

Municipio		Hoteles, Hostales y similares		Campings		Turismo Rural y Apartamentos	
		Establecimientos	Plazas	Establecimientos	Plazas	Establecimientos	Plazas
Embalse de Mequinenza	Caspe	8	191	1	608	5	47
	Chiprana	0	0	0	0	3	23
	Escatrón	3	50	0	0	0	0
	Sástago	2	109	0	0	0	0
	Total EM	13	350	1	608	8	70
Embalse de Ribarroja	Mequinenza	4	88	2	228	5	47
	Almatret	0	0	0	0	1	4
	Batea	1	27	0	0	1	9
	Fayon	1	17	2	364	0	0
	La fatarella	3	30	0	0	0	0
	La Granja de Scarp	0	0	0	0	0	0
	La pobla de Massalua	0	0	1	123	2	22
	Ribarroja	1	42	1	195	0	0
	Serós	0	0	0	0	0	0
	Villalba dels arcs	1	20	0	0	1	15
	Torrente del Cinca	0	0	0	0	0	0
Total ER	11	224	6	910	10	97	
Total		24	574	7	1.518	18	167

A pesar del tamaño de los embalses, pues Mequinenza tiene un tamaño muy superior no sólo en volumen, sino también en perímetro, el embalse de Ribarroja dispone de más establecimientos y de más plazas de alojamiento. Buena parte de ello es debido al papel subsidiario que se atribuido hasta ahora a Mequinenza, los niveles del agua podían variar en Mequinenza 20 metros pero eran prácticamente constantes en Ribarroja, la escasa regulación de las actividades de pesca ha afectado más a Mequinenza que a Ribarroja, igualmente las comunicaciones y control de las orillas han sido mejores en Ribarroja. Estos factores explican el bajo desarrollo de urbanizaciones y zonas de turismo en el embalse de Mequinenza a favor de Ribarroja. El fracaso de la urbanización Playas de Chacón¹⁰ parece confirmar estos hechos.

Con el objetivo de estimar el valor añadido del sector hemos realizado una lista de los emplazamientos, a día de hoy activos, junto con los datos de ingresos y empleo disponibles. Para el embalse de Mequinenza se han identificado únicamente 4 empresas activas, todas ellas en el término municipal de Caspe. Mientras por el lado del embalse de Ribarroja se han identificado siete alojamientos, tres en Fayón, uno en Mequinenza y otros tres en Ribarroja.

Los datos disponibles nos dan como resultado un ingreso medio por empleado de 84.602€, pero no son suficientes para caracterizar el turismo en la zona. Por este motivo hemos recurrido de nuevo a IAEST y al IDESCAT, en este caso para observar el empleo asociado a los servicios propiamente turísticos. Con estos datos y el ratio VAB / Producción (55%) que hemos obtenido de las tablas I-O de Aragón 2005(Pérez y Parra, 2009), hemos construido la tabla 11, donde se presenta el empleo, la producción, el valor añadido y el uso de agua.

El consumo de agua, ha sido aproximado, como hiciéramos ya con la industria y el resto de servicios, con los coeficientes que figuran en las tablas 6.15 de *“La industria agroalimentaria en la economía aragonesa: capacidad dinamizadora, escenarios de crecimiento y medio ambiente”*. En estas tablas, podemos observar que la hostelería y restauración, consumen 0,379 m³ por cada euro de producción. Esto nos lleva a estimar unas retiradas de agua asociadas al sector turístico de 0,80 Hectómetros cúbicos en Mequinenza y 0,64 en Ribarroja, sumando un total de 1,44 Hm³.

¹⁰ La urbanización Playas de Chacón está sita en el término de Caspe, siendo totalmente ribereña y dotada de todos los servicios municipales, en la actualidad, dicha urbanización está semiabandonada.

Tabla 10: Empresas turísticas de la zona

Nombre	Código NIF	Localidad	Ingreso medio últimos 2 años	Empleo
Visit Hotel SL	B99275653	Caspe	476.872	6
Bajoaragonesa de gestion sl	B50107192	Caspe	665.861	7
Magallon Cortes sl	B50598309	Caspe	472.742	5
Sierra Ebro sl	B99139586	Caspe	82.069	1
Wels-Camp-Matarraña sl	B50657808	Fayon	132.798	2
Sociedad de servicios multiples alroja sl	B99211898	Fayon	7.870	-
Camping club los almendros sl	B99018731	Fayon	-	-
Ebrus sl	B50634765	Mequinenza	-	-
Welscamp ribarreja sociedad limitada.	B55604300	Ribarreja d'ebre	78.206	-
Camping pinyer sl	B43406644	Ribarreja d'ebre	78.195	-
Hotel hacienda pepito sl	B43505866	Ribarreja d'ebre	30.914	1

Fuente: elaboración propia a partir de la base de datos SABI

Tabla 11: Producción de la actividad turística de la zona

Empleados en servicios de alojamiento			Producción estimada	VAB estimado	Consumo de agua en Hm ³
Embalse de Mequinenza	Caspe	23	1.945.846 €	1.070.215 €	0,74
	Escatrón	2	169.204 €	93.062 €	0,06
	Total EM*	25	2.115.050 €	1.163.278 €	0,80
Embalse de Ribarroja	Mequinenza	4	338.408 €	186.124 €	0,13
	Almatret	0	29.494 €	16.222 €	0,01
	Batea	3	284.076 €	156.242 €	0,11
	Fayon	1	82.274 €	45.250 €	0,03
	La fatallera	2	176.966 €	97.331 €	0,07
	La Granja de Scarp	1	80.721 €	44.397 €	0,03
	La pobla de Massaluca	1	45.018 €	24.760 €	0,02
	Ribarreja	2	162.995 €	89.647 €	0,06
	Serós	4	315.123 €	173.318 €	0,12
	Villalba dels arcs	1	91.587 €	50.373 €	0,03
	Torrente del Cinca	1	84.602 €	46.531 €	0,03
Total ER	20	1.691.264 €	930.195 €	0,64	
Total EM + ER	45	3.806.314 €	2.093.473 €	1,44	

*En esta tabla se han omitido los 20 empleados en “servicios de alojamiento de Sástago ya que están ligados en gran medida al monasterio de Rueda y no así al embalse.

Como puede verse, el embalse de Mequinzenza, a pesar de su gran extensión en comparación con el de Ribarroja, tan sólo representa un 25% más de producción, revelando las condiciones de infradesarrollo relativo que tiene. El valor añadido total es de poco más de 2 millones de euros, revelándose la baja incidencia de las actividades turísticas cuando los comparamos con el valor añadido generado, por ejemplo, en la ganadería que es más de 30 millones, ver tabla 3. También podemos compararlo con el valor añadido de las centrales de Mequinzenza que, de acuerdo con los datos de las tablas 7 y 8, es de más de 13,5 millones de euros.

En este caso no cabe hablar de productividad aparente del agua, pues el valor añadido de este sector deriva prácticamente en su totalidad del agua y del estado de conservación de los embalses así como de la existencia de infraestructuras que permitan el uso y disfrute de los embalses para recreo y pesca deportiva.

3.1.6 Caracterización del empleo y estimación del PIB en la zona

Para concluir este apartado y dar unión a todas las estimaciones hechas por separado, nos disponemos ahora a caracterizar el empleo en la zona y estimar el PIB en su conjunto. Para ello, hemos recurrido al IAEST para lo relacionado con las poblaciones y comarcas aragonesas, y al IDESCAT para las catalanas. Los datos de empleo, con el máximo nivel de desagregación posible (dos dígitos de nivel CNAE), ciertos para las poblaciones más grandes y estimados¹¹ a partir de estos para las poblaciones más pequeñas, están disponibles en anexo A6. La tabla 12 muestra un resumen del agregado de tales datos.

La presente tabla, tabla 12, demuestra que la agricultura en general supone en los alrededores de los embalses alrededor del 40% del empleo. Muy por encima de la media de Aragón (7%) y más aún de la media nacional (5,3%). Por este motivo pensamos que el agua de los embalses debe estar mucho más comprometida con los usos agrarios de lo que está ahora, rompiendo así con la situación actual en la que los únicos objetivos son la producción hidroeléctrica y la regulación fluvial.

¹¹ Los datos a nivel dos dígitos CNAE no están disponibles para todas las poblaciones por secreto estadístico. No obstante, a nivel sectorial sí están disponibles para todas las poblaciones, por lo que **la tabla 12 está compuesta con datos ciertos y no con datos estimados.**

Tabla 12: Resumen de los Afiliados a la seguridad social por ramas de actividad (media anual).

Municipio		Agricultura		Industria		Construcción		Servicios		Total	
Embalse de Mequinenza	Caspe	1.218	33,21%	270	7,36%	188	5,13%	1.992	54,31%	3.668	
	Chiprana	228	78,89%	8	2,77%	5	1,73%	48	16,61%	289	
	Escatrón	322	61,69%	53	10,15%	23	4,41%	124	23,75%	522	
	Mequinenza	153	18,82%	331	40,71%	31	3,81%	298	36,65%	813	
	Sástago	289	48,17%	84	14,00%	54	9,00%	173	28,83%	600	
	Total EM sin MT	2.210	37,51%	746	12,66%	301	5,11%	2.635	44,72%	5.892	
	Mancocomunidad Turolense	Albalate del Arzobispo	90	16,36%	238	43,27%	37	6,73%	185	33,64%	550
		Alcorisa	61	7,89%	177	22,90%	86	11,13%	449	58,09%	773
		Allorza	41	26,45%	21	13,55%	43	27,74%	50	32,26%	155
		Andorra	89	4,44%	482	24,05%	258	12,87%	1.175	58,63%	2.004
		Ariño	2	0,50%	272	68,34%	47	11,81%	77	19,35%	398
Total MT	283	7,29%	1.190	30,67%	471	12,14%	1.936	49,90%	3.880		
Total EM	2.493	25,51%	1.936	19,81%	772	7,90%	4.571	46,78%	9.772		
Embalse de Ribarroja	Almatret	30	49,18%	5	8,20%	7	11,48%	19	31,15%	61	
	Batea	270	44,55%	100	16,50%	53	8,75%	183	30,20%	606	
	Fayón	23	15,44%	55	36,91%	18	12,08%	53	35,57%	149	
	La Fatallera	72	29,51%	24	9,84%	34	13,93%	114	46,72%	244	
	La Granja d' Escarp	85	54,49%	6	3,85%	13	8,33%	52	33,33%	156	
	La pobla de massaluca	41	46,59%	2	2,27%	16	18,18%	29	32,95%	88	
	Ribarroja	9	6,34%	3	2,11%	25	17,61%	105	73,94%	142	
	Serós	214	42,71%	42	8,38%	42	8,38%	203	40,52%	501	
	Torrente de Cinca	317	68,47%	23	4,97%	18	3,89%	105	22,68%	463	
	Villalba dels arcs	78	40,63%	32	16,67%	23	11,98%	59	30,73%	192	
Total ER	1.139	43,77%	292	11,22%	249	9,57%	922	35,43%	2.602		
Total sin MT	3.349	39,43%	1.038	12,22%	550	6,48%	3.557	41,88%	8.494		
Total con MT	5.842	31,98%	2.974	16,28%	1.322	7,24%	8.128	44,50%	18.266		

3.1.6.1 Imputación del PIB de la zona

Para realizar la estimación del PIB asociado a los embalses hemos recurrido a los PIB per cápita comarcales. Para ello se han utilizado los últimos datos disponibles para las poblaciones aragonesas, datos referentes a 2012. Para las poblaciones catalanas se ha utilizado un número índice publicado por el IDESCAT, que representa el PIB per cápita de las comarcas en relación al PIB per cápita de Cataluña. El último dato disponible de este índice es de 2010, sin embargo se lo hemos aplicado al PIB per cápita de Cataluña de 2012 para ir en sintonía con el resto de los datos. Los datos por municipio se recogen en la tabla 13 y sirvieron para ajustar los datos correspondientes a las divisiones sectoriales referenciadas en la tabla 4.

Tabla 13: Imputación de PIB a los municipios (en €)

	Municipio	Población (1/01/2013)	Comarca	PIB per cápita de la comarca (2012)	PIB imputado	
Embalse de Mequinenza	Caspe	9.858	Bajo Aragón	14.872	146.608.176	
	Chiprana	487	Bajo Aragón	14.872	7.242.664	
	Escatrón	1.104	Ribera baja del Ebro	37.230	41.101.920	
	Mequinenza	2.436	Bajo Cinca	20.301	49.453.236	
	Sástago	1.249	Ribera baja del Ebro	37.230	46.500.270	
	Manco- munidad Turolense	Albalate del Arzobispo	2.025	Bajo Martín	27.945	56.588.625
		Alcorisa	3.433	Bajo Aragón	14.872	51.055.576
		Alloza	638	Andorra Sierra de arcos	28.034	17.885.692
		Andorra	8.148	Andorra Sierra de arcos	28.034	228.421.032
		Ariño	775	Andorra Sierra de arcos	28.034	21.726.350
Embalse de Ribarroja	Almatret	348	Segriá	25.027	8.709.508	
	Batea	1.975	Terra Alta	20.815	41.109.234	
	Fayón	372	Bajo Aragón	14.872	5.532.384	
	La Fatallera	1.056	Terra Alta	20.815	21.980.431	
	La Granja d' Escarp	972	Segriá	25.027	24.326.556	
	La pobla de massaluca	372	Terra Alta	20.815	7.743.106	
	Ribarroja	1.301	Ribera d'Ebre	64.812	84.320.707	
	Serós	1.911	Segriá	25.027	47.827.211	
	Torrente de Cinca	1.241	Bajo Cinca	20.301	25.193.541	
	Villalba dels arcs	706	Terra Alta	20.815	14.695.250	

4. MODELO HÍDRICO SIMPLE

En este punto, en primer lugar, vamos a realizar un análisis de los flujos y caudales, que nos permita evaluar la disponibilidad de agua en los distintos embalses y la posibilidad de afrontar unos caudales ecológicos mayores a los actuales. Para esto es fundamental observar los requerimientos de agua actuales y estimar los futuros, algo que ya hemos hecho en el apartado anterior, el cual, además, nos ha permitido describir la estructura económica que caracteriza el tramo bajo del Ebro, identificando ésta como una economía con un gran sesgo hacia el sector agrario, el más consuntivo en agua.

Vistos los usos, las productividades del agua y las necesidades hídricas de cada parte de la función productiva del área analizada, nos centramos en este apartado, en evaluar la disponibilidad del recurso, así como en plantear, qué opciones estratégicas cabe proponer en la gestión hídrica de este tramo; replanteando así las reglas del juego en busca de asignaciones más óptimas. Como veremos, el aprovechamiento del recurso podría ser más eficiente y equitativo con pequeños cambios en las normas, explícitas o tácitas, que rigen los usos del agua en este tramo.

De esta manera, las preguntas clave, las de si ¿hay agua disponible para los usos previstos? y ¿qué márgenes hay? podrán ser respondidas de forma más rigurosa. Para ello nos vamos a centrar en un tema clave de las asignaciones de agua del bajo Ebro, los caudales ecológicos en el Delta.

La necesidad de garantizar estos caudales puede ser cubierta de diferentes maneras, y su análisis nos va a permitir responder a ambas cuestiones. Para ello vamos a aproximar las disponibilidades de agua con un modelo hídrico sencillo pero significativo y compararemos los resultados de las diferentes alternativas. La conclusión es, en nuestra opinión, que no hay agua sobrante en Mequinenza y que en la actualidad los usos de agua en ese embalse son claramente rivales. Los márgenes de juego aparecen asociados a los excedentes para regulación que hay en Ribarroja y Flix, pero ello supone un cambio en los actuales criterios de gestión. Hasta ahora, todo el peso de la regulación del Delta (garantía de caudales y avenidas artificiales para mantener la salud del río y con sus lodos garantizar sedimentos) dependía de los stocks de agua de Mequinenza. Pues era éste el que desembalsaba agua cuando era necesario y también el que restituía rápidamente, los desembalses de Ribarroja.

4.1 Sobre los flujos necesarios en el Delta y en Tortosa

Como puede verse en CHE (2014), dos han sido las posiciones básicas sobre los caudales ecológicos en el Delta: la hecha por el Plan Hidrológico del Ebro que se recoge en el anterior documento, y la que mantiene la Agència Catalana de l'Aigua (2007), (ACA en adelante), que distingue entre años secos, medios y húmedos. Los requerimientos de las cuatro, la de la CHE y las tres de la ACA, son muy diferentes, siendo, en nuestra opinión, viables únicamente la del Plan Hidrológico, que denominaremos a partir de ahora PPHE, y la de los años secos de ACA (2007), que llamaremos PACA. En la tabla 14 pueden verse las demandas de las cuatro. Más información sobre sus características puede consultarse en el anexo A7. Notemos las grandes diferencias entre los requerimientos anuales de cada una de ellas. La PPHE requiere de $3.016 \text{ hm}^3/\text{año}$, mientras que la PACA demanda más de doble, $7.165 \text{ hm}^3/\text{año}$. Las propuestas de ACA (2007) para los años medios y húmedos son de $9.498 \text{ hm}^3/\text{año}$ y $12.542 \text{ hm}^3/\text{año}$ respectivamente, más de tres y cuatro veces lo que demanda la PPHE.

Una primera razón para excluir en nuestros criterios de gestión la existencia de diferencias según el tipo de año que plantea ACA (2007) es la dificultad de poner en marcha este criterio dado el desconocimiento que tenemos sobre ciclos hídricos en la cuenca y de la variabilidad que pueden tener las precipitaciones.

A este motivo se suma también el siguiente: Como puede verse en la tabla A7.2 del citado anexo 7, la aportación anual en Tortosa de 1984-1985 al 2013-2014 (30 años) sólo ha superado los $12.542,47 \text{ hm}^3$ fijado por el mínimo fijado por ACA(2007) para los años húmedos en 5 de los 30 años, uno de cada seis¹². Usando el mismo periodo, la aportación anual mínima de los años medios, $9497,95 \text{ hm}^3$, sólo se ha superado en 14 de los 30 años, menos de 2/3 de los años. Y en ambos casos se está teniendo en cuenta la totalidad de la aportación. En otras palabras, es imposible garantizar estos requerimientos mínimos salvo que se reduzca el tejido económico y sus usos no sólo en el tramo bajo sino en el curso alto y medio del valle del Ebro, algo inviable. Por el contrario, si nos fijamos en los requerimientos anuales de ACA (2007) de años secos, $7164,68 \text{ hm}^3/\text{año}$, sólo 12 de los 30 años no lo cumplieron.

¹² Si el periodo se extiende a 50 años, de 1964-1965 al 2013-2014, la tasa de cumplimiento de los mínimos de años húmedos aumenta, pasando de 1/6 a 18/50, que es aproximadamente un tercio. Para el conjunto de años medios y húmedos la tasa es 31/50, inferior a 2/3.

Tabla 14: Propuestas de caudales medioambientales para Tortosa

Propuesta para Tortosa de CHE (2014)														
	oct	nov	dic	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	Media	Total
Caudal m³/s	80	80	91	95	150	150	91	91	81	80	80	80	95,58	
Aportación hm³	214,27	207,36	243,73	254,45	369,36	401,76	235,87	243,73	209,95	214,27	214,27	207,36		3.016,40
Propuesta ACA (2007) para años secos														
Caudal m³/s	87	135	248	285	327	276	336	396	252	167	116	103	227,03	
Aportación hm³	233,02	349,92	664,24	763,34	805,20	739,24	870,91	1.060,65	653,18	447,29	310,69	266,98		7.164,68
Propuesta ACA (2007) para años medios														
Caudal m³/s	119	202	359	388	436	360	428	500	342	198	150	135	300,97	
Aportación hm³	318,73	523,58	961,55	1.039,22	1.073,61	964,22	1.109,38	1.339,20	886,46	530,32	401,76	349,92		9.497,95
Propuesta ACA (2007) para años húmedos														
Caudal m³/s	207	317	449	468	511	526	569	623	453	254	187	210	397,45	
Aportación hm³	554,43	821,66	1.202,60	1.253,49	1.258,29	1.408,84	1.474,85	1.668,64	1.174,18	680,31	500,86	544,32		12.542,47

Fuente: Elaboración propia a partir de CHE (2014)

Finalmente, si nos fijamos en la aportación fijada por la PPHE, observamos que anualmente se ha superado siempre en los últimos 30 años, aunque, ello ha sido posible gracias a que actualmente ya se está actuando realizando sueltas de agua desde Mequinenza cuando es necesario. No obstante, aún con estas actuaciones, en ocasiones el nivel de Mequinenza se ha situado por debajo de lo admisible, la cota 105 donde se sitúan las tomas de agua del regadío.

Puede concluirse que adoptar la propuesta del PHE de mantener las actuales actuaciones y garantizar esos niveles en cualquier planificación de actividad que se haga de cara al futuro, es posible aunque tenga costes significativos. Este será nuestro primer escenario tipo. Nuestro segundo escenario tipo, al que los análisis nos conducen a concluir que es mucho más problemático y difícil de lograr, será el que hemos denominado PACA.

El agua a desembalsar para cubrir los objetivos medioambientales, cuando no se cumplan de forma natural, sólo puede venir de los embalses agua arriba, que son como sabemos: Flix, Ribarroja, Mequinenza, Rialb, El Grado, Mediano, Barasona, Santa Ana, Canelles y Camarasa, principalmente. Dada la fuerte dependencia de los Riegos del Alto Aragón de El Grado y Mediano, las dificultades que tiene este sistema de riegos para cubrir sus demandas a pesar de su modernización, así como las importantes producciones hidroeléctricas de estos pantanos, difícilmente pueden incluirse en ninguna alternativa de mejora de gestión para el bajo Ebro. Algo parecido ocurre con los pantanos de Barasona, Santa Ana y Canelles, de los que depende el Canal de Aragón y Cataluña. Y lo mismo sucede con el pantano de Camarasa respecto el Canal de Urgel. Por ello no los incluiremos en la modelización y en el análisis, centrándonos en

Ribarroja, Mequinenza y Rialb (con el que intentamos modelar los excedentes del Segre). Flix no lo consideremos por su pequeña capacidad frente a los tres anteriores.

Para cerrar la discusión sobre los requerimientos de agua del Delta, ha de introducirse el compromiso de avenidas provocadas para mantener la salud ecológica y sedimentaria del río, especialmente en el Delta. De acuerdo con la tabla 15, según datos de los últimos años, sólo son necesarias una o dos al año como máximo, suponiendo cada avenida artificial unos 50 hm³ adicionales. Por tanto, las avenidas provocadas no requieren más de 100 hm³ al año, lo que es una cantidad menor frente a lo que suponen los caudales mínimos comentados, aunque significativa como veremos, pues representa una tercera parte de lo necesario para poner en marcha el PEBEA. Además, son usos a tomar fundamentalmente de Mequinenza, al menos en un porcentaje de 2/3 que es lo que aporta este pantano al total de recursos, y que es el embalse sometido a mayor presión entre objetivos rivales.

Tabla 15. Caudales máximos de crecidas ocurridas en el período 2001/2010

Fecha	Caudal máximo de la crecida (m ³ /s)	Origen de la crecida
5-9/12/2002	1.346	Controlada
2-12/2/2003	2.376	Natural
27/2/2003-10/3/2003	1.900	Natural
8-12/5/2003	1.440	Natural
5-9/12/2003	1.194	Controlada
13-15/3/2006	1.526	Controlada
4/5/2006	1.498	Controlada
28/3/2007-21/4/2007	2.050	Natural
28/5/2007	1.042	Controlada
8/11/2007	1.235	Controlada
15/5/2008	1.261	Natural
26/5/2008	2.142	Natural
3-6/6/2008	1.562	Natural
29/1/2009-16/2/2009	1.110	Natural
18/5/2009	1.065	Controlada
21/10/2009	1.120	Controlada
15-17/1/2010	1.345	Natural
20/5/2010	1.171	Controlada
4/11/2010	1.172	Controlada

Fuente: CHE (2014), página 42

4.2 Un modelo sencillo de los flujos del bajo Ebro

Para obtener el modelo en que introducimos el replanteamiento de los criterios vigentes, partimos de los datos de aforos y embalses obtenidos de la Confederación Hidrográfica del Ebro en <http://sig.magrama.es/aforos>, así como de la información solicitada directamente al SAIH. En particular los correspondientes a los aforos de Sástago (código 9112), Fraga (9017), Serós (9025), Tortosa (9027), Cherta margen derecha (9404), Cherta margen izquierda (9405), Ponts (9114) y a los embalses de Mequinzena (código 9803), Ribarroja (9804), Flix (9802) y Rialb (9876). Más datos sobre los embalses pueden verse en el anexo A4.

Con el modelo analizamos el periodo 1964/1965 hasta 2013/2014, plazo suficientemente extenso para que las conclusiones sobre viabilidad de los caudales ecológicos sean significativas. Como veremos, los problemas para el cumplimiento de los mínimos se concentran en los últimos años, de forma que si nos fijáramos sólo en un periodo más corto de 30 años, 1884-1985 hasta 2013-2014, los niveles en porcentaje de cumplimiento serían aún menores. No obstante, los efectos de estudiar un periodo menor podrían ocultar posibles evoluciones cíclicas de las aportaciones del río, sobre las que se carece de información relevante.

El primer problema al que nos enfrentamos en la modelización es la eliminación de los efectos de la actual regulación. Además, para dar más capacidad al modelo incluiremos en él tres alternativas: que las entradas son las que nos dan los datos y que exigimos únicamente los mínimos de las propuestas PPHE y PACA; que las entradas se reducen en un 20% (se pueden minorar algunas de ellas o todas) introduciendo así la posibilidad de mayores usos en el resto del Valle, así como los efectos que la revegetación y/o el cambio climático pudieran tener en un futuro, que implicarían menores disponibilidades de agua en el tramo bajo; y por último, la posibilidad de incrementar un 10% los mínimos de las propuestas como forma de evaluar la dureza del requerimiento, un posible incremento en los usos consuntivos aguas abajo, y también dar una mayor seguridad de cumplimiento a éstas.

Las variables de control, o los instrumentos de posible intervención en la gestión, serán las reservas de los embalses de Mequinenza, Ribarroja y Rialb. Se considera éste también por ser la forma más sencilla de incluir las aportaciones vía Segre de Cataluña, y porque aunque sus usos están ya definidos, no se han implementado en una parte (hay regadíos sin poner en marcha de los planes de Segarra-Garrigues y el trasvase a Barcelona es una idea apenas formalizada)

Para obtener el régimen sin regulación hemos investigado las relaciones entre los flujos conocidos de Tortosa y los de diferentes puntos del tramo bajo del Ebro, salidas de Mequinenza versus Tortosa, Ascó versus Tortosa, etc. De todos los intentos realizados, hay uno que ha resultado ser muy significativo y explicativo, la correlación entre las entradas en Mequinenza y los aforos en Fraga y Serós con las aportaciones o aforos en Tortosa a nivel anual. En concreto, hemos obtenido la siguiente correlación lineal, con un $R^2 = 0,944$:

$$\text{Aforo en Tortosa} = 1,03895 (\text{Entrada en Mequinenza} + \text{Aforo Serós} + \text{Aforo Fraga}) - 1.545,54$$

Al ser datos anuales, la estimación está relativamente libre de las modificaciones de muy corto plazo que suponen las regulaciones, por lo que podemos considerarla una relación aproximada de las condiciones sin regulación. Por otra parte, el significado del coeficiente es fácilmente interpretable, un 3,895% de la suma de las tres entradas se añade al flujo que éstas suponen. Este casi 4% corresponde a las aportaciones de otros afluentes menores y de las precipitaciones. Por su parte, el término constante también es fácilmente interpretable ya que se ajusta a los datos. Éste representa el agua que no pasa por Tortosa aunque va hacia el Delta; pensemos que las retiradas en Cherta, para los canales de la margen derecha e izquierda suponen, según los datos disponibles unos 1.000 hm^3 al año, a lo que falta por añadir las retiradas que suponen los usos de regadío que toman sus aguas una vez pasado los puntos de control, que recordemos, se pueden identificar como las entradas en Mequinenza y Ribarroja. Estas retiradas son las dedicadas al regadío en el embalse de Mequinenza, y aguas abajo de este, que como se muestra en la Figura 1 no son pocos hasta las tomas en Cherta. Además, existen otros usos menores que implican retiradas, como los urbanos, industriales o de ganadería.

Apoyándonos en la estimación anterior, definimos el modelo de flujos mensuales sin intervención. Asumimos que éstos tienen su origen en cuatro puntos o fuentes, entradas mensuales de Mequinenza, aforos mensuales de Fraga, entradas mensuales de Rialb y aforos mensuales de Serós (son los disponibles estadísticamente reducidos en las estimaciones de las entradas mensuales de Rialb)¹³. La suma de las cuatro entradas mensuales es el agua que potencialmente puede ser enviada a Tortosa. Esta magnitud de agua se incrementa en un 3,895% para tener todo el agua que podría llegar a la desembocadura. Pero esta cuantía mensual se debe reducir en la parte correspondiente de los 1.545,54 hm³ retirados. Para distribuir estas retiradas mensualmente nos hemos apoyado en los aforos mensuales de los dos canales de Cherta; se ha usado para repartir los 1.545,54 hm³ el peso medio de los distintos meses en la suma de aforos de ambos *chertas*.

Como se explicará posteriormente, si no existiera regulación no sería posible lograr en todos los meses del periodo analizado los mínimos requeridos, lo que obliga a realizar una gestión activa. Vamos a modelar dos tipos de gestión, una de largo plazo o plurianual y otra de corto plazo o mensual. La primera la vamos a identificar con la fijación de unos niveles óptimos mensuales para cada embalse (óptimos para nuestros objetivos), niveles que se mantienen a lo largo del tiempo y a los que confía, a través de la regulación que suponen, la reducción de los fallos de los caudales mínimos exigidos. Esta fijación de niveles se puede hacer para cada uno de los tres embalses citados en particular o para varios de ellos. Analizaremos tres casos. En uno la implantación de niveles mensuales óptimos se hará únicamente en Mequinenza, manteniendo los otros embalses sus niveles fijos; el segundo es mantener Mequinenza a nivel fijo y variar mensualmente (buscando la optimización) Ribarroja y Rialb conjuntamente; por último, está la opción de que los tres embalses adapten a la vez mensualmente sus niveles para optimizar los cumplimientos medioambientales.

¹³ De cara a incluir en las simulaciones el embalse de Rialb se han creado dos entradas en el modelo, una son las entradas en Rialb y otra el resto de aforo de Serós. Las entradas de Rialb se identifican con las que aparecen como entradas del embalse de Rialb, en los años en que existen, 2000-2001 a 2013-2014, y con los aforos de Ponts en los años 1964-1965 a 1980-1981. Para los años intermedios en que no existe información, hemos obtenido los totales anuales por correlación lineal con los datos de Serós; una vez obtenidos los totales, los distribuimos mensualmente con las mismas proporciones que tenga el año de 2000-2001 a 2013-2014 que más parecido tenga el total anual. Tras estas estimaciones, la entrada de Serós en el modelo es justamente la diferencia entre el aforo medido en esa estación y la estimación de la entrada en Rialb.

Los resultados, como era de esperar, muestran que esta política de gestión plurianual es positiva y que los mínimos medioambientales se logran en un mayor número de meses, pero también evidencia que no es suficiente ni siquiera para la propuesta menos exigente, la PPHE, aun cuando tan sólo exigimos el estricto cumplimiento de los mínimos, sin márgenes adicionales y sin reducción de las entradas. Por ello abordamos el análisis de la planificación mensual: desembalses adicionales para cubrir exactamente los déficits estimados en el Delta. En esta política de gestión a corto también puede fijarse qué embalse aporta más al desembalse. En total deben desembalsar el déficit mensual detectado, pero éste puede repartirse con pesos diferentes entre los tres.

Para calcular los niveles mensuales óptimos de la planificación plurianual para cada embalse es necesario extender y modificar el modelo anterior de flujos sin regulación. Por una parte, introducimos una función a minimizar, que será el número de meses que no se cumple con los mínimos que llegaran a Tortosa. Las variables de control de la optimización serán los niveles mensuales de cada año de los distintos embalses, o lo que es equivalente, el nivel de la reserva mensual de cada uno de ellos.

La elección del nivel óptimo mensual se hace según dos restricciones básicas: hay una cota máxima de embalse y una cota mínima, que a su vez definen una cota media como valor intermedio de las dos anteriores. Las cotas máximas son los niveles a los que cada embalse tiene sus aliviaderos, las mínimas por el contrario son una decisión arbitraria que por nuestra parte hemos querido fijar en cotas que suponen poco más del 50% de la capacidad total y que dan lugar a cotas medias que representan más del 75% de capacidad. En el caso de Mequinenza, el nivel mínimo fijado es la cota 110, cinco metros por encima del nivel crítico de 105; el nivel 110, además de suponer más del 50% de su capacidad total da lugar a una cota media de 115,5, aproximadamente el nivel medio del periodo 1/10/2004 al 30/09/2014 que es de 115,32 metros. En el caso de Ribarroja, el nivel mínimo elegido es la cota 64, para el que mantiene algo más de la mitad de su capacidad, siendo la cota media de 67 metros, lo que supone más del 76% de la capacidad total. En Rialb hemos optado por una cota mínima de 415, nivel que de nuevo retiene más del 50% de la capacidad y que hace que la cota media de 422,5 metros esté por encima de nivel al que se inicia el bombeo para usos de regadío. Cuando en la optimización la cota del embalse sea fija, la mantendremos en la cota media, Pues estas representan el nivel al que suponemos efectos negativos nulos (en Mequinenza están muy cerca de los niveles medios anuales). La situación de Ribarroja es

excepcional, hasta ahora sus condiciones de explotación y la gestión de Mequinenza le han permitido tener prácticamente niveles máximos, su media del 1/10/1997 al 30/09/2014 es de 69,50 metros, cuando su cuota máxima es de 70 metros, pero esta situación es dudosamente aceptable al plantear una gestión conjunta y cooperativa.

El funcionamiento del modelo es el siguiente: una vez fijado el nivel de cada embalse, ya arbitrariamente, ya por un proceso de optimización, la evolución de las reservas del embalse y por tanto el agua que sale de él está regida por los siguientes criterios. Asumiremos que en la fecha inicial, octubre de 1964, las reservas son exactamente las correspondientes a la cota media. Para cada embalse, si las reservas del mes anterior más las entradas no alcanzan el volumen planificado, éste no desembalsa ninguna cantidad. Pero si por el contrario la suma supera dicho volumen, desembalsa todo el exceso que tenga manteniendo, exactamente, las reservas previstas.

Esta simulación de regulación plurianual, cuando la aplicamos a los tres embalses por igual, nos proporciona un marco de partida muy interesante: lo que ocurriría si no existieran los embalses pero aun así se garantizaran los abastecimientos para todos los usos. Para estimar las llegadas totales a Tortosa hemos procedido, acorde con las estimaciones realizadas al inicio de este apartado, de la siguiente manera: Conocidas en cada caso las aportaciones mensuales en las estaciones de aforo de Mequinenza, Fraga, Rialb y Serós, se incrementan en un 3,895% y se reducen al igual que en el caso sin regulación las retiradas mensuales, que se asume no están afectadas por la regulación. Esto nos da como resultado un aforo teórico en Tortosa con el que estimamos el mayor o menor cumplimiento de los requerimientos medioambientales en el caso de regulación plurianual.

Los resultados, que pueden verse en la tabla 16 nos dicen que no es suficiente esta regulación y que la regulación mensual es necesaria. En este caso, la ampliación del modelo es muy sencilla de interpretar. Calculado el déficit que se produce con la regulación plurianual, déficit que ya tiene en cuenta las retiradas y los aportes de otros ríos o de las precipitaciones, los embalses liberan exactamente la cantidad, si es posible, en que se estima el déficit de agua en Tortosa haciendo que éste no se produzca.

La programación de todo el modelo se ha hecho en Excel, permitiendo así ver claramente las relaciones e interpretar los resultados. Para optimizar se ha usado la extensión Solver del propio Excel, usando de las opciones la metodología evolutiva de resolución. Los cálculos pueden mejorarse usando un software de cálculo más potente como Mathematica, pero cualitativamente las diferencias no son significativas.

4.2.1 Principales resultados de las simulaciones

Vamos a dividir esta presentación de resultados de acuerdo con los tres tipos de gestión que simulamos: sin regulación, con gestión plurianual y con gestión mensual. En todos los casos estimaremos el nivel de fallo de la gestión tanto a nivel anual como a nivel mensual, obteniendo el porcentaje de años o meses sobre el total que no cumplen los mínimos requeridos. Recordemos que los meses en análisis son 600, que corresponden a 50 años. Los resultados completos pueden verse en el anexo A8, aquí sólo presentaremos los más significativos.

4.2.1.1 Sin regulación mensual

La tabla 16 recoge los resultados principales de este caso para las distintas alternativas posibles. En ella D_M , D_F , D_S y D_R son los niveles de disponibilidad de las entradas de Mequinenza, Fraga, Serós y Rialb, que varían de 1 a 0 y miden posibles reducciones futuras por mayores usos de las aguas río arriba. S_T representa los caudales mínimos exigidos en Tortosa, tomando valor 1 cuando sólo exigimos que el mínimo se consiga y 1,1 cuando exigimos un 10% adicional.

Tabla 16. Resultados de las simulaciones sin regulación mensual

Alternativas		$D_M=1$	$D_M=1$	$D_M=0,8$	$D_M=0,8$	$D_M=0,8$	$D_M=1$	$D_M=1$	$D_M=1$
		$D_F=1$	$D_F=1$	$D_F=0,8$	$D_F=0,8$	$D_F=1$	$D_F=0,8$	$D_F=1$	$D_F=1$
		$D_S=1$	$D_S=1$	$D_S=0,8$	$D_S=0,8$	$D_R=1$	$D_S=1$	$D_S=0,8$	$D_S=1$
		$D_R=1$	$D_R=1$	$D_R=0,8$	$D_R=0,8$	$D_S=1$	$D_R=1$	$D_R=1$	$D_R=0,8$
		$S_T=1$	$S_T=1,1$	$S_T=1$	$S_T=1,1$	$S_T=1$	$S_T=1$	$S_T=1$	$S_T=1$
PPHE	Años fallidos	0	0	2 (4%)	2 (4%)	2 (4%)	0	0	0
	Meses fallidos	62 (10,3%)	80 (13,3%)	132 (22%)	150 (25%)	85 (14,2%)	80 (13,3%)	78 (13%)	71 (11,8%)
PACA	Años fallidos	11 (22%)	12 (24%)	18 (36%)	22 (40%)	12 (24%)	11 (22%)	11 (22%)	11 (22%)
	Meses fallidos	210 (35%)	245 (40,8%)	315 (52,2%)	352 (58,7%)	256 (42,7%)	233 (38,8%)	233 (38,8%)	219 (36,5%)

Lo primero que resalta en la tabla 16 es que las visiones anual y mensual son muy diferentes. Anualmente, el nivel de fallo de los requerimientos de PPHE es nulo o bajo en todas las alternativas. Sólo tres de las ocho alternativas analizadas fallan en dos de los cincuenta años, lo que sería totalmente aceptable. Sin embargo, a nivel mensual, el porcentaje de fallos es muy significativo y no puede obviarse. Este es el problema principal de la regulación, la necesidad de mantener una regulación permanente y activa para asegurar las condiciones ecológicas.

La segunda conclusión de la tabla anterior es la gran dificultad de cumplir los requisitos PACA, la cual, recordemos, se corresponde con la menos exigente de las tres presentadas en ACA (2007). En el caso más favorable, al menos en uno de cada cinco años no se logra cubrir los mínimos requeridos con los flujos totales que llegan a Tortosa. Si pasamos a nivel mensual, la situación es aún peor, en uno de cada tres meses no se logran los mínimos. Todo ello nos lleva a reafirmarnos en lo ya dicho, es una propuesta muy difícil social, económica y ecológicamente.

Otro resultado interesante y que debemos tener muy en cuenta es la sensibilidad a los datos sobre los flujos de entrada y a las exigencias en Tortosa (condiciones de partida de la modelización). En la tabla 16 vemos que de la primera alternativa a la cuarta, que son los dos polos del problema, el porcentaje de fallos mensuales crece en más del 65%, pasando de 210 meses (35% de los meses) a 352 (58,67%) para la alternativa PACA, incrementándose porcentualmente todavía más, en la opción PPHE, en la cual pasa de 62 meses (10,33%) a 150 (25,00%). Ello obliga a que en el futuro, en cualquier planificación que se haga sobre las aguas del Ebro, se deba de tener en cuenta estos resultados.

En resumen, podemos decir que no es posible garantizar sin regulación los mínimos medioambientales, ni siquiera los de PPHE, y que una gestión reguladora de la cuenca es necesaria si queremos que las condiciones ambientales del Delta no se degraden. En otras palabras, si no existe colaboración entre usuarios aguas arriba y habitantes de las tierras del bajo Ebro, no hay posibilidad de garantizar las condiciones ecológicas del Delta. Es decir, además de una solución técnica que intente asegurar los flujos hídricos y la minimización de costes que ello suponga, es necesario también mecanismos de discusión y debate que propicien acuerdos cooperativos entre todos los agentes y territorios.

Límites de la regulación plurianual

En este punto evaluaremos los límites de la regulación plurianual, consistente en establecer un nivel estático en todos los embalses, permitiendo bajarlos sólo cuando los mínimos ecológicos lo requieran, y nunca por debajo del nivel estipulado como mínimo. Para ello, por simplicidad, supondremos que no hay reducciones en las entradas previstas y nos conformamos con cubrir los mínimos ($D_M=1$, $D_F=1$, $D_S=1$, $D_R=1$ y $S_T=1$). La tabla 17 recoge algunos de los resultados que se han obtenido en estas simulaciones mostrando los fallos en las distintas alternativas de planificación.

En dicha tabla, la primera alternativa de la gestión es la más simple posible, coincidente con el apartado anterior, implica que todos los embalses mantienen la cota estipulada como “media”, sin bajar de este nivel aunque los caudales mínimos en Tortosa no se cumplan. Este escenario, ya visto anteriormente, será el que nos sirva como escenario base para comparar las diferentes alternativas.

Tabla 17. Resultados de la gestión a largo plazo

Alternativas/Embalses que asumen la regulación	PPHE				PACA			
	Años fallidos	%	Meses fallidos	%	Años fallidos	%	Meses fallidos	%
Los tres mantienen la cota media (sin regulación)	0	0	62	10,33	11	22	210	35
Los tres para obtener PPHE	0	0	16	2,67	11	22	169	28,17
Los tres para obtener PACA	0	0	29	4,83	11	22	139	23,17
Sólo Mequinenza para PPHE	0	0	20	3,33	11	22	164	27,33
Sólo Mequinenza para PACA	0	0	36	6	11	22	143	23,83
Ribarroja y Rialb para PPHE	0	0	28	4,67	11	22	191	31,83
Ribarroja y Rialb para PACA	0	0	45	7,5	11	22	165	27,00
Sólo Mequinenza para PPHE y cota inferior a 90	0	0	14	2,33	11	22	167	27,83
Ribarroja y Rialb para PPHE, las cotas inferiores son 61 y 380	0	0	22	3,67	11	22	187	31,17

Observemos también en la tabla superior que incluso las dos alternativas de optimización más cooperativas, la segunda y la tercera, en las que los tres embalses participan en buscan esa meta, no suponen una mejoría desde el punto de vista anual. Con ninguna de las dos hay fallos anuales para el caso PPHE, al igual que ocurría cuando no teníamos regulación, y también los fallos anuales para la alternativa PACA son exactamente los mismos que sin regulación, 11 de los 50 años. Lo mismo ocurre anualmente para las otras alternativas.

Por el contrario, si nos fijamos en los resultados mes a mes apreciamos que la planificación plurianual es muy útil, vemos claras mejoras en los resultados mensuales. Con este tipo de gestión, si actúan los tres, casi se logran los objetivos PPHE, sólo fallan 16 de los 600 meses analizados, equivalente aproximadamente a un mes cada tres años, lo que a nuestro juicio es realmente poco. Por el contrario, si lo que intentan es reducir los fallos de PACA, el éxito es mucho menor, reducen los fallos de 210 meses a 139, pasando del 35% al 23,17%, aun regulando conjuntamente los tres pantanos.

Si sólo actúa Mequinenza, como ocurre en la actualidad, la reducción de fallos es menor pero ésta depende del nivel mínimo permitido (del esfuerzo que se exige al embalse). Mequinenza por si sola puede superar la eficiencia de los tres pantanos actuando conjuntamente si se incluye la posibilidad de que su nivel baje del nivel crítico de 105 metros (en la modelización nunca podía bajar de 110). Algo parecido ocurre con Ribarroja y Rialb. Sorprende, no obstante, que la mejora de actuar Mequinenza con niveles mínimos de 90 sea muy pequeña frente a los resultados de actuar con la cota mínima en 110. En otras palabras, bajar de 110 en la planificación plurianual es costoso económicamente y poco eficaz desde el punto de vista medioambiental.

Resumiendo, podemos concluir que, si no queremos forzar los embalses y sus propias condiciones medioambientales, la cooperación es la solución más operativa, más eficiente, y también, más equitativa en términos de cohesión territorial. Además, al exigir menos variaciones en los niveles de los embalses incrementa el potencial de desarrollo vinculado al agua de la zona (sobre todo en el terreno turístico), especialmente en el entorno de Caspe y en la margen derecha turolense de Mequinenza, territorios con un declive demográfico y limitaciones estructurales muy graves.

4.2.1.1 Con regulación mensual

En los apartados anteriores se ha comprobado que no era posible garantizar los caudales mínimos con las planificaciones plurianuales ensayadas. En estas condiciones, nos podemos preguntar: ¿podemos mejorar los resultados con intervenciones mensuales concretas? Para afrontar esta cuestión partiremos de las situaciones óptimas plurianuales anteriores permitiendo en ellas que los embalses actúen además en los meses en que falla el mínimo ambiental desembalsando más agua. Las situaciones analizadas y sus resultados pueden verse en la tabla 17, donde se indica el peso de participación de los embalses cuando actúan conjuntamente.

Como vemos en dicha tabla la planificación mensual es capaz de asegurar los mínimos medioambientales del Delta tanto para las exigencias PPHE como para las PACA, lo que significa que si toda el agua disponible se dedica a ese objetivo, los mínimos ambientales pueden asegurarse. Más aún, ello es posible tanto para la PPHE como para la PACA utilizando los tres embalses, utilizando sólo Mequinenza, e incluso apoyándonos únicamente en Ribarroja y Rialb.

Desde el punto de vista de la gestión, esto es muy significativo, dado que entonces, no es necesario imponer a Mequinenza la obligación de asegurar las condiciones ambientales del Delta, ya que Ribarroja y Rialb son también capaces por si solos de asegurarlas. Siendo esto posible, no parece eficiente ni equitativo que toda la regulación medioambiental sea soportada en exclusiva por Mequinenza, y mucho menos cuando, visto en el apartado anterior, esto puede suponer un coste ambiental y económico para su entorno muy elevado. Y es que, la alta varianza a la que se está exponiendo el embalse de Mequinenza en lo que a nivel o volumen se refiere, está ocasionando varianzas mucho mayores en las orillas y la formación rápida de lodazales; que a su vez provoca la aparición de mosquitos y desincentiva la inversión en la zona. Por lo tanto, la regulación basada en el uso de un solo embalse, por voluminoso que este sea, se convierte en una transferencia de rentas, camufladas como costes de oportunidad, hacia las zonas liberadas de esta obligación. La ciudadanía afectada por esta servidumbre de Mequinenza debería por ello ser compensada de alguna manera.

Tabla 17. Resultados de las simulaciones mensuales (fallos de los objetivos)

Embalses que actúan y alternativas	PPHE		PACA	
	Años fallidos	Meses fallidos	Años fallidos	Meses fallidos
Mequinenza, Ribarroja y Rialb hacen la planificación plurianual PPHE y nadie hace la mensual	0	16 (2,67%)	11 (22,00%)	169 (28,17%)
Mequinenza, Ribarroja y Rialb hacen la planificación plurianual PPHE y la mensual con pesos del 40, 30 y 30	0	0	11 (22,00%)	169 (28,17%)
Mequinenza, Ribarroja y Rialb hacen la planificación plurianual PPHE y Mequinenza la mensual	0	0	11 (22,00%)	169 (28,17%)
Mequinenza, Ribarroja y Rialb hacen la planificación plurianual PPHE y Ribarroja y Rialb las mensuales al 50%	0	0	11 (22,00%)	169 (28,17%)
Mequinenza, Ribarroja y Rialb hacen la planificación plurianual PACA y nadie hace la mensual	0	36 (6,00%)	11 (22,00%)	143 (23,83%)
Mequinenza, Ribarroja y Rialb hacen la planificación plurianual PACA y la mensual con pesos del 40, 30 y 30	0	0	0	0
Mequinenza, Ribarroja y Rialb hacen la planificación plurianual PACA y Mequinenza la mensual	0	0	0	0
Mequinenza, Ribarroja y Rialb hacen la planificación plurianual PACA y Ribarroja y Rialb las mensuales al 50%	0	0	0	0
Mequinenza hace la planificación plurianual para PPHE y nadie hace la mensual	0	20 (3,33%)	11 (22,00%)	164 (27,33%)
Mequinenza hace la planificación plurianual para PPHE y la mensual los tres con pesos del 40, 30 y 30	0	0	11 (22,00%)	164 (27,33%)
Mequinenza hace ambas planificaciones para PPHE	0	0	11 (22,00%)	164 (27,33%)
Mequinenza hace la planificación plurianual para PPHE y Ribarroja y Rialb la mensual con pesos del 50%	0	0	11 (22,00%)	164 (27,33%)
Mequinenza hace la planificación plurianual para PACA y nadie hace a mensual	0	36 (6,00%)	11 (22,00%)	143 (23,83%)
Mequinenza hace la planificación plurianual para PACA y la mensual los tres con pesos del 40, 30 y 30	0	0	0	0
Mequinenza hace ambas planificaciones para PACA	0	0	0	0
Mequinenza hace la planificación plurianual para PACA y Ribarroja y Rialb la mensual con pesos del 50%	0	0	0	0

Ribarroja y Rialb hacen la planificación plurianual para PPHE y nadie hace la mensual	0	28 (4,67 %)	11 (22,00%)	191 (31,83%)
Ribarroja y Rialb hacen la planificación plurianual para PPHE y los tres la mensual con pesos del 40, 30 y 30	0	0	11 (22,00%)	191 (31,83%)
Ribarroja y Rialb hacen la planificación plurianual para PPHE y Mequinenza la mensual	0	0	11 (22,00%)	191 (31,83%)
Ribarroja y Rialb hacen ambas planificaciones para PPHE, la mensual con pesos del 50%	0	0	11 (22,00%)	191 (31,83%)
Ribarroja y Rialb hacen la planificación plurianual para PACA y nadie hace la mensual	0	45 (7,50%)	11 (22,00%)	165 (27,50%)
Ribarroja y Rialb hacen la planificación plurianual para PACA y los tres la mensual con pesos del 40, 30 y 30	0	0	0	0
Ribarroja y Rialb hacen la planificación plurianual para PACA y Mequinenza la mensual	0	0	0	0
Ribarroja y Rialb hacen ambas planificaciones para PACA, y la mensual con pesos del 50%	0	0	0	0
No hay planificación plurianual para PPHE ni mensual de nadie	0	62 (10,33%)	11 (22,00%)	210 (35,00%)
No hay planificación plurianual para PPHE y los tres hacen la mensual con pesos del 40, 30 y 30	0	0	11 (22,00%)	210 (35,00%)
No hay planificación plurianual para PPHE y Mequinenza hace la mensual	0	0	11 (22,00%)	210 (35,00%)
No hay planificación plurianual para PPHE y Ribarroja y Rialb hacen la mensual al 50%	0	0	11 (22,00%)	210 (35,00%)
No hay planificación plurianual para PACA ni mensual de nadie	0	62 (10,33%)	11 (22,00%)	210 (35,00%)
No hay planificación plurianual para PACA y los tres hacen la mensual con pesos del 40, 30 y 30	0	0	0	0
No hay planificación plurianual para PACA y Mequinenza hace la mensual	0	0	0	0
No hay planificación plurianual para PACA y Ribarroja y Rialb hacen la mensual al 50%	0	0	0	0

5. APLICACIÓN DE LA TEORÍA DE JUEGOS AL BAJO EBRO

En el presente apartado nos disponemos a evaluar, con ayuda de la teoría de juegos, la justicia y la optimalidad que hay detrás de las hipótesis de gestión expuestas en el punto inmediatamente anterior. Aunque debemos destacar que si nos queremos mover en situaciones reales, deberíamos restringirnos a las exigencias PPHE, ya que las de la PACA son en la práctica imposibles de garantizar. Partiendo por tanto de esta situación, estas son algunas ideas sugeridas por la Teoría de juegos que nos permiten también avanzar en el análisis de las estrategias posibles.

Lo que estamos abordando es un conflicto entre agentes, estamos por ello en la situación exacta de lo que se denomina “un juego” donde podemos asumir que hay dos jugadores, uno es Mequinenza y otro el conjunto Ribarroja-Rialb. Como es bien sabido por la teoría, hay tres formas de abordar un juego, los juegos competitivos (sin negociación ni cooperación), los de negociación sin cooperación y los cooperativos. Los tres pueden ser utilizados y son complementarios entre sí, cuando sea posible implementarlos. No obstante los tres son diferentes porque representan visiones institucionales diferentes, esto es, formas diferentes de interactuar los agentes.

En el juego competitivo cada agente busca lo mejor para sí, sin importarle en forma alguna las ganancias o pérdidas de los demás. La solución típica es el equilibrio de Nash competitivo. Por su parte, en el juego con negociación, cada jugador valora únicamente sus beneficios, pero está dispuesto, a través de la negociación, a cambiar a posiciones más eficientes si le suponen una ganancia. Es necesario por tanto que en el cambio todos los jugadores ganen. Las soluciones más usuales son las de negociación de Nash, regular o general, aunque existen otras: Kalai-Smorodinsky...

Por último, en el juego cooperativo la valoración guía es el beneficio conjunto, quedando en segundo lugar su posible reparto. Por racionalidad, en los repartos o asignaciones nadie debe recibir menos de lo que puede conseguir por separado. La base de la cooperación es la posibilidad de incrementar el beneficio conjunto, esto es, que los beneficios conseguibles entre todos sean no inferiores a la suma de los que consiguen individualmente. Notemos que ello exige poder comparar las ventajas de unos y otros, ya que deben agregarse, lo que no es necesario en las soluciones competitivas o de negociación. Sus soluciones típicas son los llamados elementos del núcleo, el núcleo lo o las asignaciones tipo Shapley. En los temas del agua, casi siempre se ha asumido este

tipo de juego, por ello lo que se ha planteado casi siempre es ¿cuáles son las ganancias o pérdidas de cada jugador en las distintas alternativas?, y las soluciones se han buscado por la vía del reparto o de las compensaciones.

5.1 Juegos competitivos

En nuestro caso es difícil establecer valoraciones comparativas de costes y beneficios por varias razones. La primera es la dificultad para tener estimaciones fiables y que no reduzcan aspectos relevantes del conflicto. La segunda, es la compleja situación social y política generada por los conflictos entre territorios, situación que da lugar a que la cooperación sea más difícil de implementar y que el horizonte de razonamiento actual de cada agente, desde un punto de vista práctico, tienda a ser casi exclusivamente el de sus propios intereses. Por este motivo vamos a realizar una aproximación al problema, y a la posible solución, a través del juego competitivo con dos jugadores que se describe a continuación y que utiliza los resultados de las simulaciones anteriormente presentadas.

Como función de utilidad para cada uno de los escenarios o casos vamos a usar la diferencia entre el nivel medio alcanzado en la simulación correspondiente en los últimos 20 años reducido en la desviación típica, diferencias que pueden verse en la tabla 18. El nivel medio es un buen indicador del esfuerzo hídrico realizado por un embalse y podemos asumir que los daños o pérdidas crecen con la reducción del nivel. Por otra parte, la desviación típica nos mide la amplitud de las variaciones alrededor de la media y es negativa cuando mayor sea. Hay otras posibilidades de definir la función de utilidad de los agentes, pero de acuerdo con lo visto en el trabajo, la propuesta tiene una justificación suficientemente sólida. Asumimos que la función de utilidad elegida es estrictamente creciente con la verdadera utilidad de los agentes. Más aún, asumiremos que son sumables las utilidades de los dos agentes para facilitar la interpretación de los resultados y para poder discutir, de una manera sencilla, los temas de negociación y cooperación. En el caso de Mequinzenza, los valores de la utilidad en los distintos casos pueden verse en la tabla 18. Para el conjunto Ribarroja-Rialb no tenemos valoraciones conjuntas¹⁴ pero lo resolveremos tomando en un caso las de Rialb como utilidades del conjunto y en otro las de Ribarroja, que también se presentan en dicha tabla.

¹⁴ La utilidad obtenida por el equipo Ribarroja-Rialb es difícil de medir. No podemos sin más sumar utilidades, ya que los valores de estas no son cuantitativos, sino solamente ordenativos. Por este motivo hemos optado por plantear los juegos teniendo en cuenta la utilidad primero de Ribarroja y luego de Rialb, para al final observar que los equilibrios se repiten con independencia de cuál de los dos embalses utilicemos para nuestro análisis.

Para ambos agentes vamos a suponer que existen cuatro estrategias simples, a saber: no hacer nada, ni planificación plurianual ni mensual; hacer únicamente gestión plurianual; hacer gestión mensual únicamente; y por último hacer tanto gestión plurianual y gestión mensual. Cuando actúen ambas partes en la gestión mensual suponemos que los pesos son 40% Mequinenza, 30% Ribarroja y 30% Rialb, mientras que cuando Ribarroja y Rialb sean quienes se reparten la gestión mensual este reparto será a partes iguales, pues estas son las condiciones con que hicimos las simulaciones anteriores. Las estrategias las denominaremos MN, MP, MM y MPM para Mequinenza y RRN, RRP, RRM y RRPM para el grupo Ribarroja-Rialb.

Si nos fijamos únicamente en los datos de la tabla 18, donde no se considera ninguna penalización por no cumplir los objetivos medioambientales, los pagos correspondientes pueden verse en las tablas 19.1 y 19.2. No obstante, como no podría ser de otra manera, las estrategias dominantes en este caso son las caracterizadas por la inacción, MN y RRN. Estas estrategias dominantes no garantizan los caudales ecológicos, dejando por tanto sin resolver el problema foco del presente trabajo. Recordemos que los objetivos/requerimientos medioambientales únicamente se cumplían cuando existía planificación mensual por parte de alguno de los dos jugadores. Por ello hemos creado dos juegos alternativos, los representados en las tablas 19.3 y 19.4, que resultan de una modificación en las respectivas 19.1 y 19.2, modificación que exige el cumplimiento de los requerimientos mediante la valoración con pagos nulos para ambos jugadores, cuando dichos requerimientos no se verifiquen.

Tabla 18. Simulaciones mensuales. Niveles mínimos y máximos, media mensual y desviación típica en los últimos 20 años

		Nivel máximo	Nivel mínimo	Meses por debajo de cota media	% meses por debajo cota media	Nivel mensual medio	Desviación típica	Nivel medio menos desviación típica
Mequinenza, Ribarroja y Rialb hacen la planificación plurianual PPHE y nadie hace la mensual	Mequinenza	120,990	111,650	120	50,00	115,497	2,738	112,759
	Ribarroja	68,390	64,500	100	41,670	66,847	0,914	65,932
	Rialb	426,520	419,410	141	58,75	422,560	2,124	420,436
Mequinenza, Ribarroja y Rialb hacen la planificación plurianual PPHE y la mensual con pesos del 40, 30 y 30	Mequinenza	120,990	111,650	120	50,00	115,464	2,739	112,725
	Ribarroja	68,390	61,950	108	45,00	66,739	1,067	65,672
	Rialb	426,520	416,530	144	60,00	422,434	2,204	420,23
Mequinenza, Ribarroja y Rialb hacen la planificación plurianual PPHE y Mequinenza la mensual	Mequinenza	120,990	110,890	122	50,83	115,412	2,760	112,652
	Ribarroja	68,390	64,500	100	41,67	66,847	0,914	65,933
	Rialb	426,520	419,410	141	58,75	422,560	2,124	420,436
Mequinenza, Ribarroja y Rialb hacen la planificación plurianual PPHE y Ribarroja y Rialb las mensuales al 50%	Mequinenza	120,990	111,650	120	50,00	115,497	2,738	112,759
	Ribarroja	68,390	59,500	108	45,00	66,658	1,311	65,347
	Rialb	426,520	414,460	145	60,417	422,343	2,358	419,985
Mequinenza, Ribarroja y Rialb hacen la planificación plurianual PACA y nadie hace la mensual	Mequinenza	120,940	111,720	140	58,33	115,251	2,970	112,282
	Ribarroja	422,500	422,500	0	0,00	422,500	0,000	422,500
	Rialb	66,990	66,990	0	0,00	66,990	0,000	66,990
Mequinenza, Ribarroja y Rialb hacen la planificación plurianual PACA y la mensual con pesos del 40, 30 y 30	Mequinenza	120,930	109,720	131	54,58	114,966	2,414	112,552
	Ribarroja	69,180	59,500	135	56,67	65,406	2,956	62,45
	Rialb	428,700	371,660	137	57,08	419,641	7,337	412,304
Mequinenza, Ribarroja y Rialb hacen la planificación plurianual PACA y Mequinenza la mensual	Mequinenza	120,930	98,890	151	62,92	113,667	3,512	110,155
	Ribarroja	69,180	66,130	80	33,33	67,282	0,910	66,372
	Rialb	428,700	420,100	103	42,92	423,089	2,390	420,699
Mequinenza, Ribarroja y Rialb hacen la planificación plurianual PACA y Ribarroja y Rialb las mensuales al 50%	Mequinenza	120,930	111,830	100	41,67	115,685	2,780	112,905
	Ribarroja	68,35	59,50	64	26,67	64,48	3,13	61,35
	Rialb	428,700	364,000	140	58,33	416,121	14,503	401,618
Mequinenza hace la planificación plurianual para PPHE y nadie hace la mensual	Mequinenza	119,510	111,280	140	58,33	114,805	2,515	112,291
	Ribarroja	66,990	66,990	0	0,00	66,990	0,000	66,990
	Rialb	422,500	422,500	0	0,00	422,500	0,000	422,500
Mequinenza hace la planificación plurianual para PPHE y los tres hacen la mensual con pesos del 40, 30 y 30	Mequinenza	119,510	110,630	142	59,17	114,770	2,488	112,282
	Ribarroja	66,990	63,410	15	6,25	66,869	0,554	66,315
	Rialb	422,500	418,280	15	6,25	422,355	0,659	421,697

Mequinenza hace ambas planificaciones para PPHE	Mequinenza	119,510	109,630	142	59,167	114,714	2,466	112,248
	Ribarroja	66,990	66,990	0	0,00	66,990	0,000	66,99
	Rialb	422,500	422,500	0	0,00	422,500	0,00	422,5
Mequinenza hace la planificación plurianual para PPHE y Ribarroja y Rialb la mensual con pesos del 50%	Mequinenza	119,510	111,280	140	58,33	114,805	2,515	112,29
	Ribarroja	66,990	60,510	15	6,25	66,775	0,989	65,786
	Rialb	422,500	415,110	15	6,25	422,250	1,142	421,108
Mequinenza hace la planificación plurianual para PACA y nadie hace la mensual	Mequinenza	120,940	111,720	140	58,33	115,251	2,970	112,282
	Ribarroja	66,990	66,990	0	0,00	66,990	0,000	66,99
	Rialb	422,500	422,500	0	0,00	422,500	0,00	422,5
Mequinenza hace la planificación plurianual para PACA y los tres hacen la mensual con pesos del 40, 30 y 30	Mequinenza	119,510	110,480	171	71,25	114,038	2,180	111,858
	Ribarroja	66,990	59,500	94	39,17	65,053	2,955	62,098
	Rialb	422,500	375,690	94	39,17	418,945	6,913	412,032
Mequinenza hace ambas planificaciones para PACA	Mequinenza	120,940	93,370	183	76,25	113,128	4,010	109,118
	Ribarroja	66,990	66,990	0	0,00	66,990	0,000	66,99
	Rialb	422,500	422,500	0	0,00	422,500	0,000	422,5
Mequinenza hace la planificación plurianual para PACA y Ribarroja y Rialb la mensual con pesos del 50%	Mequinenza	120,940	111,720	140	58,33	115,251	2,970	112,281
	Ribarroja	66,990	59,500	80	33,33	64,986	33,168	31,818
	Rialb	422,500	364,000	80	33,33	414,989	15,693	399,296
Ribarroja y Rialb hacen la planificación plurianual para PPHE y nadie hace la mensual	Mequinenza	115,490	115,490	0	0,00	115,490	0,000	115,490
	Ribarroja	69,920	64,090	160	66,67	65,993	1,856	64,136
	Rialb	429,880	415,000	153	63,750	420,645	5,958	414,687
Ribarroja y Rialb hacen la planificación plurianual para PPHE y los tres la mensual con pesos del 40, 30 y 30	Mequinenza	115,490	114,220	22	9,17	115,432	0,203	115,229
	Ribarroja	69,920	62,220	164	68,33	65,810	1,871	63,939
	Rialb	429,880	411,820	153	63,75	420,420	5,941	414,479
Ribarroja y Rialb hacen la planificación plurianual para PPHE y Mequinenza la mensual	Mequinenza	115,490	112,190	22	9,17	115,342	0,526	114,816
	Ribarroja	69,920	64,090	160	66,67	65,993	1,856	64,137
	Rialb	429,880	415,000	153	63,75	420,645	5,958	414,687
Ribarroja y Rialb hacen ambas planificaciones para PPHE, la mensual con pesos del 50%	Mequinenza	115,490	115,490	0	0,00	115,490	0,000	115,49
	Ribarroja	69,920	59,560	166	69,17	65,671	2,029	63,642
	Rialb	429,880	407,410	153	63,75	420,260	6,004	414,256
Ribarroja y Rialb hacen la planificación plurianual para PACA y nadie hace la mensual	Mequinenza	115,490	115,490	0	0,00	115,490	0,000	115,490
	Ribarroja	69,980	64,720	140	58,33	67,233	1,540	65,694
	Rialb	429,240	415,000	149	62,08	420,631	4,895	415,735
Ribarroja y Rialb hacen la planificación plurianual para PACA y los tres la mensual con pesos del 40, 30 y 30	Mequinenza	115,490	110,060	88	36,67	114,698	1,331	113,367
	Ribarroja	69,98	59,50	180	75,00	65,126	2,969	62,157
	Rialb	429,24	388,94	183	76,25	417,365	6,523	410,842

GESTIÓN DEL AGUA: UNA APLICACIÓN AL BAJO EBRO

Ribarroja y Rialb hacen la planificación plurianual para PACA y Mequinenza la mensual	Mequinenza	115,490	98,970	88	36,67	113,295	3,780	109,515
	Ribarroja	69,980	64,720	140	58,33	67,233	1,540	65,693
	Rialb	429,240	415,000	149	62,08	420,631	4,895	415,736
Ribarroja y Rialb hacen ambas planificaciones para PACA, la mensual con pesos del 50%	Mequinenza	115,490	115,490	0	0,00	115,490	0,00	115,49
	Ribarroja	69,980	59,500	185	77,08	64,651	3,362	61,289
	Rialb	429,240	364,000	190	79,17	413,984	12,449	401,535
No hay planificación plurianual para PPHE ni mensual de nadie	Mequinenza	115,490	115,490	0	0,00	115,490	0,000	115,490
	Ribarroja	66,990	66,990	0	0,00	66,990	0,000	66,990
	Rialb	422,500	422,500	0	0,00	422,500	0,000	422,500
No hay planificación plurianual para PPHE y los tres hacen la mensual con pesos del 40, 30 y 30	Mequinenza	115,490	114,050	44	18,33	115,388	0,276	115,112
	Ribarroja	66,990	62,170	44	18,33	66,66	0,893	65,767
	Rialb	422,500	416,890	44	18,33	422,110	1,056	421,054
No hay planificación plurianual para PPHE y Mequinenza hace la mensual	Mequinenza	115,490	111,700	44	18,33	115,226	0,715	114,511
	Ribarroja	66,990	66,990	0	0,00	66,990	0,000	66,99
	Rialb	422,500	422,500	0	0,00	422,500	0,000	422,5
No hay planificación plurianual para PPHE y Ribarroja y Rialb hacen la mensual al 50%	Mequinenza	115,490	115,490	0	0,00	115,490	0,000	115,49
	Ribarroja	66,990	59,500	44	18,33	66,424	1,549	64,875
	Rialb	422,520	412,520	44	18,33	421,826	1,844	419,982
No hay planificación plurianual para PACA ni mensual de nadie	Mequinenza	115,490	115,490	0	0,00	115,490	0,000	115,490
	Ribarroja	66,990	66,990	0	0,00	66,990	0,000	66,990
	Rialb	422,500	422,500	0	0,00	422,500	0,000	422,500
No hay planificación plurianual para PACA y los tres hacen la mensual con pesos del 40, 30 y 30	Mequinenza	115,490	109,620	107	44,58	114,682	1,224	113,458
	Ribarroja	66,990	59,500	108	45,00	64,785	3,019	61,766
	Rialb	422,500	394,280	109	45,42	419,180	5,233	413,947
No hay planificación plurianual para PACA y Mequinenza hace la mensual	Mequinenza	115,490	97,220	108	45,00	113,289	3,455	109,834
	Ribarroja	66,990	66,990	0	0,00	66,990	0,000	66,99
	Rialb	422,500	422,500	0	0,00	422,500	0,000	422,5
No hay planificación plurianual para PACA y Ribarroja y Rialb hacen la mensual al 50%	Mequinenza	115,490	115,490	0	0,00	115,490	0,000	115,49
	Ribarroja	66,990	59,500	109	45,42	64,345	3,359	60,986
	Rialb	422,500	364,000	109	45,42	416,047	10,861	405,186

Tabla 19.1. Pagos del juego competitivo con utilidades de Mequinenza y Rialb

	RRN	RRP	RRM	RRPM
MN	115,490; 422,500	115,490; 414,687	115,490; 419,982	115,490; 414,256
MP	112,291; 422,500	112,759; 420,436	112,290; 421,108	112,759; 419,985
MM	114,511; 422,500	114,816; 414,687	115,112; 421,054	115,229; 414,479
MPM	112,248; 422,500	112,652; 420,436	112,282; 421,697	112,725; 420,230

Tabla 19.2. Pagos del juego competitivo con utilidades de Mequinenza y Ribarroja

	RRN	RRP	RRM	RRPM
MN	115,490; 66,990	115,490; 64,136	115,490; 64,875	115,490; 63,642
MP	112,291; 66,990	112,759; 65,932	112,290; 65,786	112,759; 65,347
MM	114,511; 66,990	114,816; 64,137	115,112; 65,767	115,229; 63,939
MPM	112,248; 66,990	112,652; 65,933	112,282; 66,315	112,725; 65,933

Tabla 19.3. Pagos del juego competitivo con utilidades de Mequinenza y Rialb, los objetivos son obligatorios

	RRN	RRP	RRM	RRPM
MN	0; 0	0; 0	115,490; 419,982	115,490; 414,256
MP	0; 0	0; 0	112,290; 421,108	112,759; 419,985
MM	114,511; 422,500	114,816; 414,687	115,112; 421,054	115,229; 414,479
MPM	112,248; 422,500	112,652; 420,436	112,282; 421,697	112,725; 420,230

Tabla 19.4. Pagos del juego competitivo con utilidades de Mequinenza y Ribarroja, los objetivos son obligatorios

	RRN	RRP	RRM	RRPM
MN	0; 0	0; 0	115,490; 64,875	115,490; 63,642
MP	0; 0	0; 0	112,290; 65,786	112,759; 65,347
MM	114,511; 66,990	114,816; 64,137	115,112; 65,767	115,229; 63,939
MPM	112,248; 66,990	112,652; 65,933	112,282; 66,315	112,725; 65,933

Siendo como era la estrategia de “no hacer nada” una estrategia dominante, no puede extrañarnos que en el caso modificado, en el que hemos asignado pagos nulos para ambos jugadores cuando no se garantizaban los caudales ecológicos, estas estrategias sigan teniendo una gran importancia. Y es que, los dos equilibrios puros hallados, como puede verse en la tabla 19.3 al igual que en la 19.4, pasan por estas estrategias en las que la máxima es que “lo haga el otro”. Esto muestra que desde una perspectiva individualista, no interesa la planificación plurianual, que sin embargo hemos calificado como “muy eficiente” reduciendo los costes económicos de la regulación mensual. Siendo además la base para unos beneficios difíciles de contabilizar pero reales, el no dañar las condiciones ambientales de los alrededores de los embalses.

La máxima de que “lo haga el otro” nunca nos conducirá a un equilibrio que podamos considerar socialmente óptimo, dada la injusticia que suscita, a pesar de que este equilibrio, en concreto el caso (MM; RRN), representa el “*statu quo*” actual, donde la capacidad de regulación se ha confiado únicamente al embalse de Mequinenza y donde los mínimos ecológicos para el Delta se han asegurado con sueltas puntuales desde este embalse. No obstante, el juego nos transmite una información importante, los papeles se podrían invertir, como consecuencia algo ya visto: Ribarroja y Rialb tienen a día de hoy capacidad suficiente para asegurar las condiciones medioambientales del Delta.

Por estos motivos, manteniendo en mente la búsqueda de una solución al problema que plantean las aportaciones debidas a los caudales ecológicos, y evitando en lo posible las soluciones que ya a primera vista no son justas, hemos buscado equilibrios de Nash entre las estrategias mixtas. Nótese en las tablas 19.3 y 19.4 que ambos jugadores tienen una estrategia dominada, la referente a hacer tanto planificación plurianual como mensual, por lo que el juego lo podemos reducir y expresar tal y como se representa en las tablas 19.5 y 19.6.

En ambas tablas podemos observar que cualquier combinación de pesos no nulos de MN y MM es siempre mejor que la estrategia MP para Mequinenza, MP se ha convertido en una estrategia puramente dominada, y que lo mismo ocurre con RRN y RRM en relación con RRP. Por lo que podemos decir que la única estrategia mixta será del tipo $\{(p \neq 0, 0, 1 - p \neq 0); (q \neq 0, 0, 1 - q \neq 0)\}$, que puede calcularse fácilmente por el método usual.

Tabla 19.5. Pagos del juego competitivo reducido

	RRN	RRP	RRM
MN	0; 0	0; 0	115,490; 419,982
MP	0; 0	0; 0	112,290; 421,108
MM	114,511; 422,500	114,816; 414,687	115,112; 421,054

Tabla 19.6. Pagos del juego competitivo reducido

	RRN	RRP	RRM
MN	0; 0	0; 0	115,490; 64,875
MP	0; 0	0; 0	112,290; 65,786
MM	114,511; 66,990	114,816; 64,137	115,112; 65,767

La solución, que puede calcularse fácilmente por el método usual, nos da como resultado que los pesos de la solución mixta del juego de la tabla 19.5 son $p=0,0034$ y $q=0,0033$, y los de la tabla 19.6 los siguientes: $p=0,0185$ y $q=0,0033$. Los pequeños valores de p y q en ambos casos nos indican que en el equilibrio ambos actores actúan prácticamente con las estrategias MM y RRM, lo que significa que están colaborando en la planificación mensual. Esto es importante porque se revela que existe una base de interés individual de cara a la colaboración.

Conociendo el tamaño y la posición geográfica, que otorgan a Mequinenza una posición privilegiada, se podría pensar en resolver el juego con una estructura líder-seguidor, ocupando Mequinenza la posición de líder y el equipo Ribarroja-Rialb la de seguidores. Este juego así planteado nos llevaría a la solución esquina en la que Mequinenza no hace nada, obligando así al otro jugador a optimizar en base esta decisión, en otras palabras, Ribarroja y Rialb deberían, en este caso realizar el esfuerzo y asumir los costes. Sin embargo, los datos muestran que aunque, una solución esquina es la realidad actual, esta solución no es la predicha por el juego con líder y seguidores, sino justo la contraria, poniendo de manifiesto que, o bien el embalse de Mequinenza tiene una función de utilidad muy altruista, o el poder de negociación de los otros jugadores es mucho mayor del considerado hasta el momento, ya que han conseguido convertir a Mequinenza en seguidor, cambiando así los papeles.

5.2 Juegos de Negociación

El juego también se puede interpretar y analizar como si un juego de negociación se tratara, lo que nos permite obtener resultados e informaciones complementarias que nos ayudaran a entender mejor el conflicto analizado y las posibles alternativas. Para ello, en primer lugar debemos construir conjuntos de negociación de las diferentes situaciones y obtener las fronteras cóncavas de soluciones eficientes. Esto lo haremos a partir de los datos ya calculados y recogidos en las tablas 19.1 a 19.6

Como se puede ver en las representaciones gráficas, algunos puntos se quedan fuera del conjunto de negociación. Estos puntos representan en su mayoría soluciones eficaces pero ineficientes, sólo una de las soluciones fuera del conjunto de negociación formaría parte de la frontera en caso de fijar puntos de retirada que correspondieran a niveles más bajos, la solución (MN;RRPM), que llevaría la utilidad de Ribarroja a 63,624 y la de Rialb a 414,256. Sin embargo, aunque este par de estrategias es eficiente y por ende formaría parte de la frontera de posibilidades, nunca sería equilibrio, pues aunque fueran Ribarroja y Rialb los únicos obligados a cumplir con los caudales ecológicos, bien podrían cumplirlos realizando regulación mensual, llevando la solución a (MN;RRM) incrementando así su utilidad (sin reducir la de Mequinzenza).

Si permitiéramos no garantizar el cumplimiento de los caudales ecológicos los datos nos llevan a dibujar la frontera que aparece en las figuras 19.1 y 19.3. Como podemos ver, la solución que ya hallamos estudiando el juego como competitivo sin negociación se vuelve a repetir, ya que, cualquiera que sea el método de asignación que apliquemos, nos conducirá al punto marcado por las estrategias (MN; RRN). No obstante, en línea con lo también realizado anteriormente, descartaremos esta solución junto con todas las que no resuelvan el problema que plantean los caudales ecológicos. Por tanto, podemos ver en las figuras 19.2 y 19.4, las nuevas fronteras de posibilidades de utilidad. En las figuras 19.6 y 19.7 se muestran, las fronteras compuestas por los puntos factibles. Se descartan como puntos factibles, aunque conformen la frontera de posibilidades de utilidad, las combinaciones (MPM; RRN) y (MN; RRPM), dado que existen puntos para los cuales, un jugador mantiene su utilidad mientras que otro la aumenta, que hacen desinteresante los anteriores y nunca podrían ser resultado de una maximización.

Figura 19.1 Representación gráfica de la Tabla 19.1.

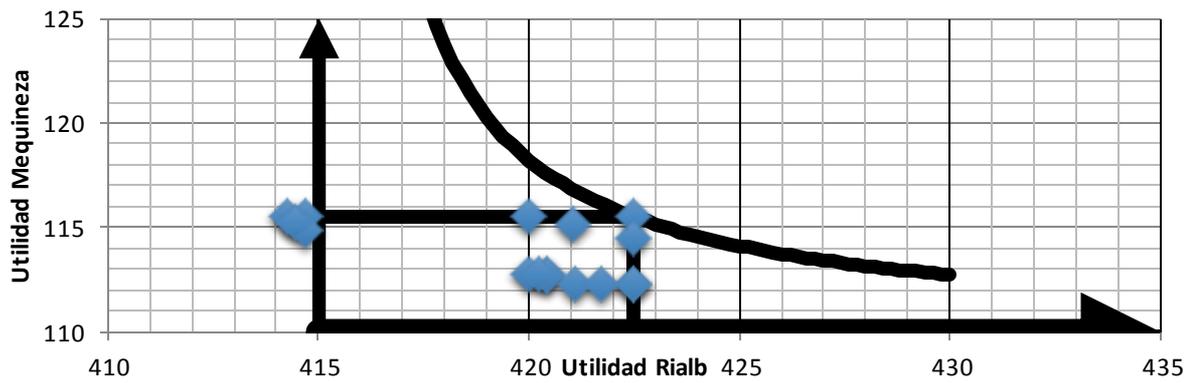


Figura 19.2 Representación gráfica de la Tabla 19.3.

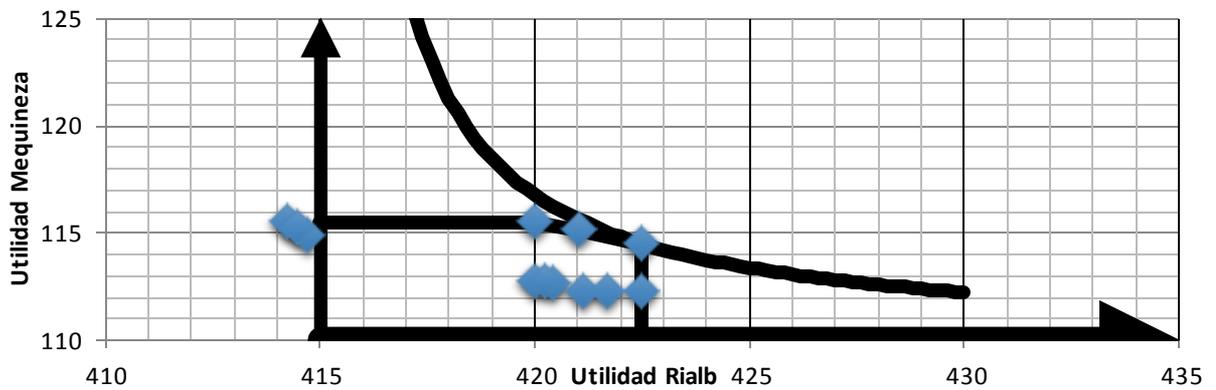


Figura 19.3 Representación gráfica de la Tabla 19.2

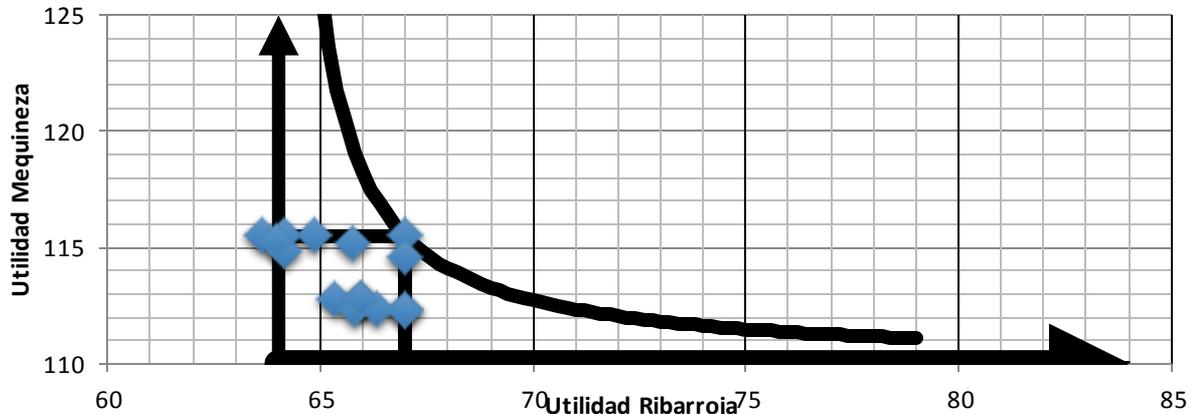
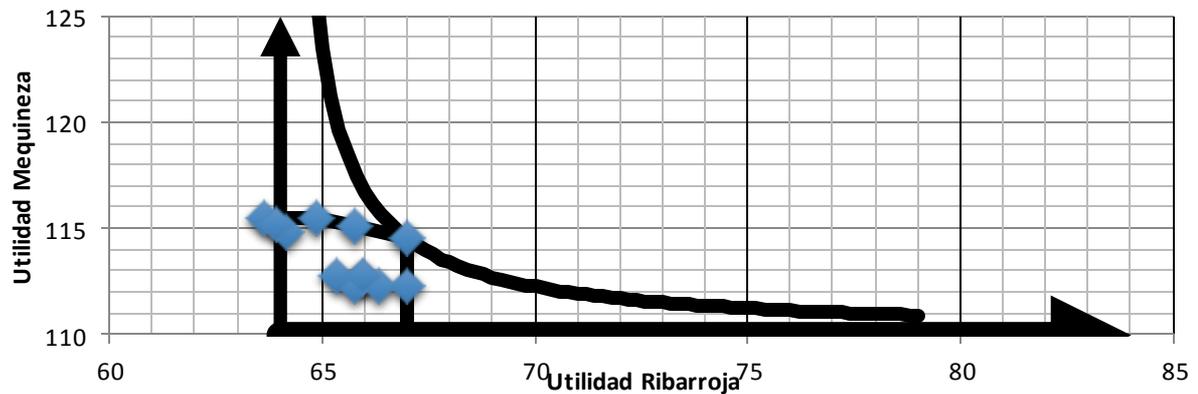


Figura 19.5 Representación gráfica de la Tabla 19.4



En base a estos gráficos, podemos calcular las asignaciones que correspondieran a las soluciones de Nash y Kalay-Smorodinsky. Para el cálculo de las primeras obtendremos, de acuerdo con los criterios de Nash, el óptimo del producto de las utilidades de cada agente descontadas en el valor de retirada. Impondremos como punto de retirada la utilidad correspondiente a las cotas mínimas con varianza cero, que se corresponden entonces con el valor de la cota mínima de cada embalse. Recordemos que las cotas mínimas a tener en cuenta por el presente trabajo, son las ya mencionadas puntos atrás: 110 m.s.n.m para Mequinenza, 415 en el caso de Rialb y 64 para Ribarroja. En las figuras 19.2 y 19.4 Podemos observar que el juego planteado con estos puntos de retirada, nos lleva, teniendo en cuenta indistintamente las utilidades de Rialb o de Ribarroja, al equilibrio MM-RRN, el *statu quo* actual, confirmando que el marco institucional del modelo no está muy alejado del vigente actualmente.

En esta solución, la gran capacidad del embalse de Mequinenza, que puede soportar las variaciones en volumen con menores oscilaciones en sus niveles que Rialb o Ribarroja, se le torna en una clara desventaja. En el pasado, ha sido su tamaño probablemente lo que ha jugado en su contra, los hechos coinciden con lo que revela el resultado teórico del juego. Este equilibrio se da cuando no tenemos en cuenta la justicia, o cuando planteamos un punto de retirada, que aunque pudiera entenderse como un criterio institucional, en busca únicamente de garantizar el abastecimiento, no tiene correspondencia con el juego analizado. Pero, ¿Qué ventaja obtiene en este caso Mequinenza sobre la peor opción posible? ¿Es el punto de retirada fijado un punto creíble? Para responder a la primera pregunta sólo observemos que la solución a la que hemos llegado es la peor de entre las factibles para Mequinenza. Si el juego fuera de forma secuencial y la coalición Ribarroja-Rialb eligiera primero, el equilibrio al que llegaríamos sería este, por lo tanto advertimos que los puntos de retirada marcados convierten a Mequinenza en un jugador pasivo, a pesar de su tamaño y posición. En respuesta a la segunda pregunta que nos planteamos, debemos fijarnos en que los puntos elegidos para cada embalse son en gran medida arbitrarios. Por ello, y con base en la teoría de juegos, proponemos puntos nada arbitrarios ciñéndonos a un criterio lógico.

Veamos que ocurre ahora si en lugar del anterior criterio de retirada, imponemos un criterio de retirada acorde con los datos del juego. Proponemos por lo tanto como puntos de retirada, la utilidad derivada del peor equilibrio que pudiera darse para cada jugador, este punto de retirada además en este caso coincide con el criterio de

prudencia, el cual nos indicaría que los puntos de retirada son 114,51 para Mequinenza, 419,98 para Rialb y 64,875 para Ribarroja. Utilidades estas que se corresponden con la peor situación que pueda darse para cada uno de los embalses, que como puede comprobarse, recae sobre la opción de tener que afrontar las variaciones en los niveles derivados de realizar en solitario, en el caso de Mequinenza, la gestión mensual, y la opción simétrica para el caso de la coalición Rialb-Ribarroja.

Como se puede ver en las figuras 19.6 y 19.7, en el caso de plantear el punto de retirada acorde con la peor situación posible, Nash nos lleva al segmento MM;RRM-MM;RRN en concreto, cuando miramos desde Rialb, la tangencia se produce en 115,042;421,241, mientras que si miramos desde Ribarroja, la tangencia se produce en 115,031;65,933. Las divergencias entre los dos puntos, evaluables por los valores que toma la utilidad de Mequinenza, es mínima. Si dividiéramos el segmento que une la alternativa colaborativa (MM-RRM) con la alternativa en que Mequinenza asume la gestión (MM-RRN) en 100 partes iguales, menos de 14 de estas partes, con independencia del punto de vista, Rialb o Ribarroja, separan el equilibrio de Nash formulado con la alterativa más colaborativa. Por lo tanto, Nash nos conduce al equilibrio colaborativo, en el cual los dos jugadores comparten la gestión mensual. Y es que las soluciones en las que alguno de los dos jugadores no colabora en la gestión, lastra la utilidad del otro llevándola a los valores de retirada. Por tanto, se repite que la solución mejor y más justa para el presente problema de asignación, pasa por la cooperación. Ambas partes deberían realizar aportaciones a los caudales ecológicos.

Por su parte, la solución de Kalay-Smorodinsky, cuando los puntos de retirada son los que se atienden únicamente a asegurar el abastecimiento, nos lleva, con independencia de la utilidad que analicemos, bien la de Ribarroja o bien la de Rialb, al segmento que une las opciones MM-RRM y MM-RRN. Más concretamente, cuando el juego lo analizamos en base a las oscilaciones en el nivel de Ribarroja, el cruce del segmento con la recta KS se produce en el punto (114,72; 66,57), mientras que si en su lugar tenemos en cuenta el embalse de Rialb, el cruce se produce en el punto (114,86; 421,65). Estos puntos son comparables en la medida que la utilidad del embalse de Mequinenza está medida de manera idéntica en todas las propuestas. Sin embargo, esta comparación nos lleva a ver que, si la que tenemos en cuenta es la utilidad de Rialb, entonces el cruce en el segmento se produce más cerca de la opción más colaborativa (MM;RRM), mientras que si tenemos en cuenta la utilidad de Ribarroja, aunque el cruce

se produce en el mismo segmento, la alternativa más próxima al cruce es la correspondiente al *statu quo*. Visto esto, cabría incluso teniendo este marco institucional en mente, proponer la solución cooperativa como la óptima, pero aun así, nos queda por ver qué ocurre si fijamos los puntos de retirada según el criterio de prudencia antes mencionado. En este caso, y de vuelta debido al lastre que suponen las soluciones no colaborativas para el pagano, de nuevo la solución girará en torno a la solución en la que ambos jugadores se reparten la gestión mensual. Más concretamente, en este caso la recta KS corta al segmento que une las opciones (MM; RRM) y (MM;RRN) en un punto, muy cercano a la colaborativa, pues si dividiéramos este segmento en 10 partes iguales, ni siquiera dos de estas partes separarían la solución KS del punto (MM;RRM). Esto es así indistintamente de las utilidades que usemos para medir la utilidad de la coalición, como puede verse en las figuras 19.6 y 19.7.

Figura 19.6 Representación gráfica de la Tabla 19.6. Puntos eficientes básicos

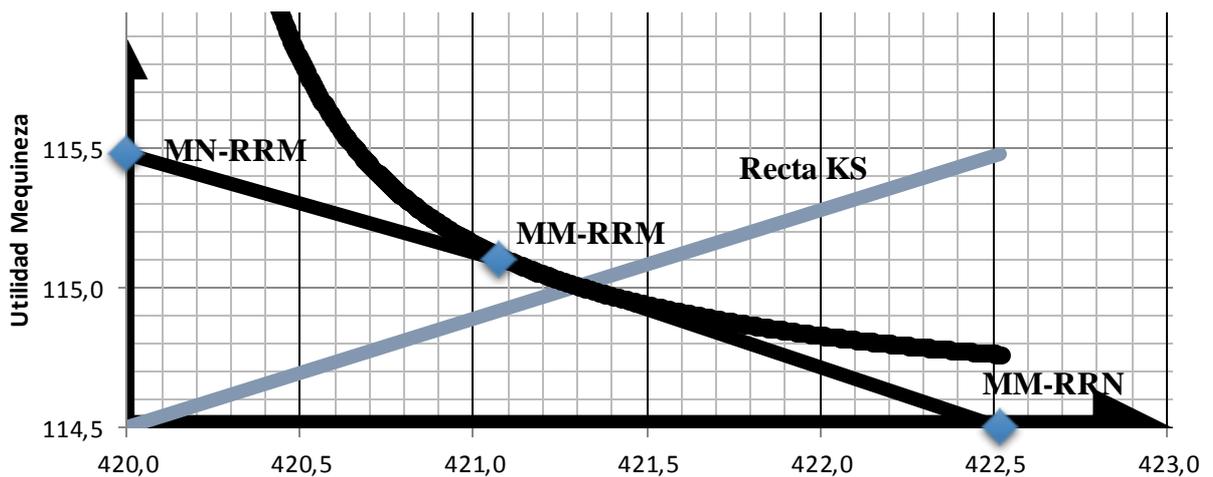
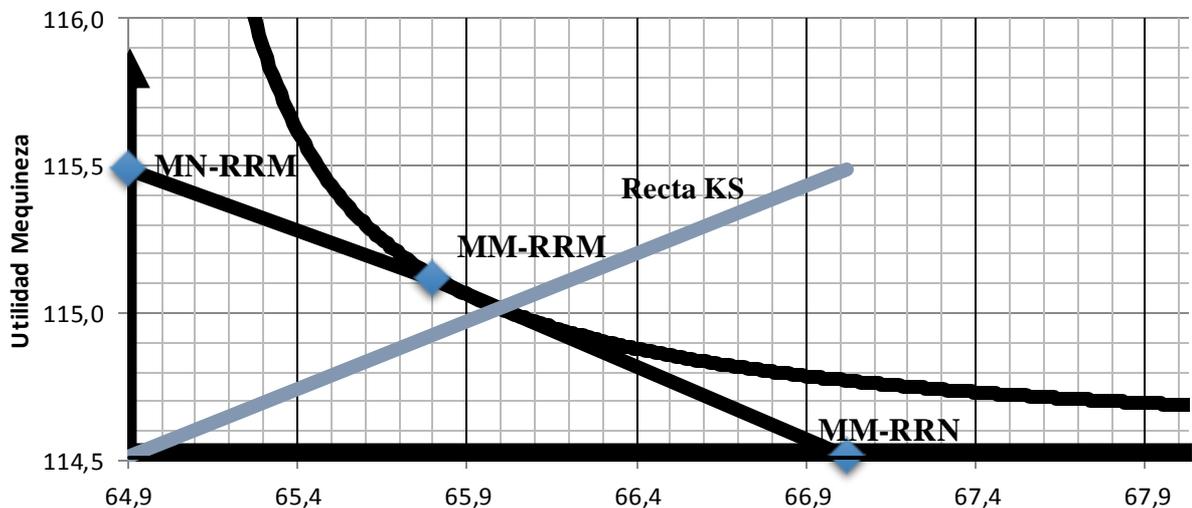


Figura 19.7 Representación gráfica de la Tabla 19.3. Puntos eficientes básicos



En resumen, cuando planteamos un juego de negociación y nos ceñimos a un criterio derivado de la teoría de juegos, como es el criterio prudente, para determinar los puntos de retirada, podemos ver que la solución colaborativa es la más apropiada. Por lo tanto, cabe preguntarse el porqué del *statu quo* actual, ¿Qué motivos ha llevado a la gestión actual al punto en el que la gestión mensual recae en exclusiva sobre Mequinenza? Como también hemos visto, marcando los puntos de retirada bajo un criterio arbitrario para la teoría de juegos, pero no falto de sentido común, los puntos mínimos que garantizan un volumen superior al 50% en cada embalse, garantizando de esta forma el abastecimiento, hemos llegado a la solución que representa la gestión actual, nada colaborativa por parte de Rialb y/o Ribarroja. Por su parte, en los juegos de negociación, podríamos tener en cuenta también el “poder de negociación” de cada parte, en otras palabras, la capacidad política de imponer una solución. Un mayor poder de negociación asociado al lado enfrentado a Mequinenza podría ser el causante de que el equilibrio se dé en el punto (MM; RRN), por lo que el problema tiene altas componentes políticas e institucionales.

La gestión que se está realizando al afrontar los requerimientos hídricos del tramo bajo en exclusiva con las aguas embalsadas en Mequinenza, puede responder en gran medida a una cuenta rápida y con poco detalle de los costes de oportunidad. En Mequinenza el agua embalsada supera con mucho la disponible en Ribarroja o en Rialb, y por este motivo, si no reparamos en más detalles, a groso modo, podríamos tener la tentación de decir que los costes de oportunidad son menores en Mequinenza, pero en esta división estaríamos obviando dividendos y no estaríamos prestando atención al conjunto de circunstancias.

6. CONCLUSIONES

La importancia del agua para la vida, para el ser humano y para cada uno de los sectores económicos es indiscutible. Sin embargo, la calidad y la disponibilidad de este recurso, descrito como imprescindible e irremplazable, se está viendo afectada por diversas variables. Esto hace previsible, y las tendencias de las series estadísticas así lo corroboran, una evolución decreciente en los aforos en Tortosa, por el cambio climático, la revegetación en cabecera y la intensificación en todo tipo de usos (agrarios, residenciales) en los tramos alto y medio del valle. Por este motivo, Europa ha dado un paso en busca de convertir el agua y sus cauces en un recurso sostenible estableciendo caudales ecológicos en los ríos. Las aportaciones mínimas definidas por tales caudales ecológicos se transforman en restricciones y obligan a las organizaciones gestoras de cada cuenca a obrar para actuar en consecuencia. Por su parte, la Confederación Hidrográfica del Ebro, gestora de la cuenca del Ebro, en el actual plan hidrológico estipuló en conciencia con el conocimiento que tienen de la cuenca, unos caudales mínimos, medidos en Tortosa, que suponen 95,6 m³/s de media. Mínimos que han sido puestos en tela de juicio por la Agencia Catalana del Agua, quienes estiman que el caudal ecológico debe depender de si el año es húmedo, medio o seco, proponiendo para cada caso unos caudales distintos, superando en mucho, inclusive la propuesta para años secos, a los propuestos por la CHE.

Las propuestas para años medios y húmedos han sido descartadas por considerarse inviables, ya que exigen volúmenes de agua de los que no se dispone ni es esperable que se disponga. Más aún, si se intentara su implementación, los cambios requeridos en los usos actuales a lo largo de todo el valle (no sólo en el bajo Ebro) serían tantos que resultarían socialmente imposibles. En consecuencia, sólo hay dos propuestas a considerar, la propuesta de la ACA para los años secos, que hemos llamado PACA, y la del PPHE.

En base al conflicto surgido nos dispusimos a evaluar la disponibilidad de agua sobrante en el tramo bajo del Ebro, para lo cual hemos construido un modelo hídrico basado en los aforos de los últimos 30 años, con el que hemos evaluado la posibilidad de cumplir los requerimientos actualmente propuestos por la CHE y los propuestos por la ACA para los años secos, llegando así a una primera conclusión: a día de hoy, todos los usos son rivales, por lo que para afrontar los caudales mínimos exigidos por la ACA para su

propuesta de años secos, los usos deberían reducirse en la cantidad que éstos superan a los caudales mínimos propuestos por la CHE en el actual plan hidrológico, alrededor de 4.000 Hm^3 , cifra que representa más del 85% del uso consuntivo de toda la cuenca¹⁵. Restricción de un insumo calificado como insustituible para todos los sectores económicos, de los que por su uso intensivo, se vería gravemente afectada la agricultura, que como hemos visto, en las zonas de influencia de Mequinenza y Ribarroja, representa una parte importante de la economía y aún más del empleo. Otro gran afectado, pero este con menos peso en la zona sería el turismo, pues el que hasta el momento viene a darse aquí, es en gran medida un turismo de pesca, actividad que depende de la cantidad y calidad de agua en los embalses. El resto de sectores, se verían afectados de manera indirecta, pero no por este motivo la afección sería pequeña, pues alrededor del 40% de los empleados trabajan en el sector primario, por lo que una importante reducción de rentas en este sector arrastraría a la baja el valor añadido en otros sectores. Por su parte, las industrias agroalimentarias también se verían gravemente afectadas. Lo cual implica que en el futuro la propuesta de la PACA es inviable, ya de partida por su nivel apenas factible ni en los años húmedos, ya por la exigencia de alterar radicalmente todo el esquema de concesiones y usos aguas arriba. En consecuencia, la actual propuesta del PPHE es correcta y no debería ser modificada.

Visto lo anterior, avanzamos en nuestra investigación con sólo una propuesta en mente, la que denominamos PPHE, y con el objetivo de evaluar diversas hipótesis de gestión, incluso la que en la actualidad se está llevando a cabo para afrontar los caudales mínimos de dicha propuesta. Este análisis lo basamos en el estudio de las series, en las simulaciones realizadas y en la teoría de juegos, que como pudimos ver en los puntos inmediatamente posteriores a la presentación, resulta de gran utilidad para realizar asignaciones y se ha empleado con frecuencia en conflictos asociados al agua.

El análisis de las series ya nos enfoca a una conclusión acerca del trato discriminatorio que en la gestión actual subyace. Mientras en el embalse de Mequinenza el nivel mínimo alcanzado en los últimos 10 años dista 20 metros del máximo alcanzable (30% de su capacidad) y la varianza en los niveles mensuales es de 16,40 metros, en el embalse de Ribarroja el mínimo se aleja poco más de 2 metros de la cota máxima alcanzable (75% de su capacidad) y la varianza es de 0,073 metros. Este estudio de las

¹⁵ Según la CHE, la demanda hídrica que en la cuenca se hace para el total de actividades es de $8.184 \text{ Hm}^3/\text{año}$, pero el consumo se limita a la cantidad de $4.685 \text{ Hm}^3/\text{año}$, siendo la diferencia demanda de agua que tras su uso se revierte a la cuenca. Este dato se puede consultar en <http://www.chebro.es/>

series nos ha mostrado que la regulación actual se limita a desembalsar agua siempre desde el mismo embalse cuando ésta es requerida río abajo, convirtiendo dicho embalse en el pagano de todos los déficits hídricos. Hemos de reconocer que la gestión actual, garantiza el abastecimiento y la existencia de reservas por seguridad, permitiendo a su vez el cumplimiento de los mínimos de la PPHE, salvo en casos puntuales o de extrema sequía; esto puede comprobarse directamente sobre los datos o bien en el modelo hídrico que hemos construido. Sin embargo, juzgamos como al menos discutible, la gestión actual pues se ha llevado al extremo en algunas ocasiones, teniendo como consecuencia la caída del nivel de Mequinenza por debajo de la cota 105, dónde se sitúan las tomas de regadío.

Por su parte, la discutibilidad de la gestión actual se ve reforzada por los resultados obtenidos de las simulaciones y la evaluación de los mismos mediante la teoría de juegos. El modelo es sencillo y mejorable analíticamente, pero ha mostrado con claridad que existen opciones alternativas a la gestión actual. Sobre este modelo hídrico planteamos alternativas de gestión que cumplan los requerimientos de los caudales ecológicos, llegando a la conclusión de que es necesaria una planificación mensual para la consecución de este objetivo. Sin embargo, el modelo también muestra que la gestión mensual no tiene porqué recaer sobre el embalse de Mequinenza, pues también garantizando el abastecimiento y la existencia de reservas por seguridad, los embalses de Ribarroja y Rialb pueden afrontar las exigencias de la PPHE. Entre las simulaciones realizadas, una propuesta destaca por considerarse menos injusta, que la gestión mensual recaiga sobre los tres embalses con los pesos 40% Mequinenza, 30% Ribarroja y 30% Rialb. Analizados los equilibrios que permiten el cumplimiento de los caudales ecológicos, esta alternativa, la más colaborativa, es la que se propone como óptima. Pues no sólo porque así resulte de aplicar la teoría de juegos en sus vertientes de juegos competitivos o de cooperación, sino también porque se entiende por quienes escriben que la gestión que se está llevando a cabo en la actualidad es sumamente injusta, pues el Embalse de Mequinenza, que por su tamaño ha sido el elegido como herramienta única para la gestión de los caudales ecológicos, está sufriendo las consecuencias y pagando los costes en solitario; Costes en forma distinta: monetarios, ambientales y de oportunidad. Los monetarios más destacables son los asociados con el coste de elevación de agua y la consecuente búsqueda de productos de regadío menos consuntivos, que a su vez reportan un menor valor añadido, como pudimos ver en el

apartado dedicado a la agricultura. De los costes ambientales también ya hemos hablado, y es que la variación en los niveles a la que se enfrenta Mequinenza hace desplazar la línea de agua creando tanto explanadas de barro y balsas de agua como la aparición de insectos poco deseables, además, cuando la caída en los niveles es elevada, los ecosistemas, fauna y flora, se ponen en peligro. Por su parte, cuando nos referimos a costes de oportunidad, tenemos en mente que la amplia variación de los niveles en Mequinenza y la práctica constancia de los de Ribarroja explican muchas de las diferencias que se han producido en el desarrollo de las actividades turísticas en sus alrededores. Pues debemos caer en la cuenta de que un nivel de las aguas estable o poco variable es condición casi ineludible para el desarrollo del sector turístico, establecimiento de urbanizaciones, hoteles y campings en las orillas de los embalses. Como dato confirmatorio, tenemos que a pesar de la gran extensión del embalse de Mequinenza, las urbanizaciones en el éste no han surgido y los pocos intentos que ha habido han fracasado o languidecen sin remedio. Por su parte en Ribarroja, con niveles prácticamente invariables, el desarrollo de instalaciones fijas para pescadores o turistas, y de deportes fluviales (puntos de pesca, tiendas, puntos de atraque,...) se ha llevado a cabo en proporciones mucho mayores a las de Mequinenza. Dejando ver que los costes de oportunidad que está pagando Mequinenza son muy elevados.

La aplicación de la hipótesis de gestión que nosotros estamos desarrollando a partir del análisis expuesto permite garantizar el abastecimiento, incluso con las restricciones y usos futuros, pero aferrándonos a una idea que calificamos como clave: no debemos dañar ni económicamente ni ecológicamente un entorno para favorecer el buen estado de los demás. Además, esta propuesta, aportando menor varianza en el nivel de Mequinenza, permitiría potenciar y aportar estabilidad al crecimiento de las poblaciones a este embalse asociadas.

7. BIBLIOGRAFÍA

- ACA (2007):** “Propuesta de caudales ambientales del tramo final del río Ebro”. Documento de discusión preparado para la Comisión de Sostenibilidad de las Tierras del Ebro por encargo de la Agencia Catalana de l’Aigua y el equipo técnico del PIPDE y elaborado por la Unidad de Ecosistemas Acuáticos del IRTA. Informe inédito
- Abed-Elmdoust, A. y Kerachian R. (2012):** “Water resources allocation using a cooperative game with fuzzy payoffs and fuzzy coalitions”. *Water resources management* 26, 3961-3976
- Atwi, M. Sánchez-Chóliz, J. (2011):** “A negotiated solution for the Jordan Basin”. *Journal of the Operational Research Society*, 62, 81-91
- Aumann, R. (1959):** “Acceptable Points in General Cooperative n Person Games, Contributions to the Theory of Games, Vol. IV”, *Annals of Mathematics Studies*, 40. 287–324
- BOE (1985):** “Ley de Aguas de 1985” Publicado en BOE núm. 189 de 8 de agosto de 1985
- Creus, J. y Ferraz, J. (1995):** Irregularidad pluviométrica y continentalidad térmica en el valle medio del Ebro. *Lucas Mallada*, 7: 147-164
- CHE (2014):** “Plan hidrológico de la Cuenca del Ebro. Extracto del estudio sobre el régimen de caudales ecológicos en la Desembocadura del río Ebro”. BOE del 1de marzo de 2014
- Debreu, G. y Scarf, H. (1963):** “A limit theorem on the core of an economy”. *International Economic Review* 4, 234–246
- Dinar, A. y Howitt, R.E. (1997):** “Mechanisms for allocation of environmental control cost: empirical tests of acceptability and stability”. *Journal of Environmental Management* 49, 183–203
- Edgeworth. F. (1881):** “Mathematical psychics: An essay on the application of mathematics to the moral sciences”. *Reprints of economic classics* (Augustus M. Kelley Publishers 1967).

- Fisher, F.M., et al (2002):** “Optimal Water Management and Conflict Resolution: The Middle East Water Project”, *Water Resources Research*, 10
- Flores, M. (2008):** “Modelos multisectoriales con enfoque medioambiental. Aplicación a la economía aragonesa”. Tesis doctoral en Economía. Universidad de Zaragoza
- Fredkin, P. (1981):** “A River No More”. New York: Knopf
- Gillies, D.B. (1953):** “Some theorems on n-person games”. Ph.D. thesis. Princeton
- Hardin, G (1968):** “The Tragedy of the Commons”. *Science* 162, 1243-1248
- Harsanyi J. C. (1967–1968):** “Games with Incomplete Information Played by ‘Bayesian’ Players.” Parts I–III. *Management Science* 14: 159–182, 320–324, and 486–502.
- Harsanyi J. C. y Selten, R. (1988):** “A General Theory of Equilibrium Selection in Games. Cambridge”. MA: The MIT Press, 378pp.
- Hipel, K.W. et al (1997):** “The decision support system GMCR in environmental conflict management”. *Applied Mathematics and Computation* 83, 117–152.
- Homer-Dixon, T (1994):** “Environmental Scarcities and Violent Conflict.” *International Security*.
- Kalai, E Smorodinsky, Meir (1975):** “Other solutions to Nash’s bargaining problem”. *Econometrica* 43 (3): 513–518
- Kerachian, R., Fallahnia, M., Bazargan-Lari, M.R., Mansoori, A. y Sedghi, H. (2010):** “A fuzzy game theoretic approach for groundwater resources management: Application of Rubinstein Bargaining Theory”. *Resources, Conservation and Recycling* 54, 673-682
- Kilgour, D.M., Fang, L. y Hipel, K.W., (1996):** Negotiation support using the decision support system GMCR. *Group Decision and Negotiation* 5, 371–384.
- Liao Z. y Hannam, P.M. (2013):** “The Mekong game: achieving an all-win situation”. *Water Resour Manag* 27: 2611–2622
- Littlechild, S. y Thompson, G.F. (1977):** “Aircraft Landing Fees: A Game Theory Approach. *Bell Journal of Economics*”. vol. 8, pages 186-204

- Madani, K. (2010):** “Game Theory and Water Resources”, Journal of Hydrology, 381, Pages: 225- 238
- Madani, K. y Hooshyar, M. (2014):** “A game theory-reinforcement learning (GT-RL) method to develop optimal operation policies for multi-operator reservoir systems”. Journal of hydrology, 519, Pages: 732-742.
- Massoud, T.G., (2000):** “Fair division, adjusted winner procedure (AW), and the Israeli–Palestinian Conflict”. Journal of Conflict Resolution 44, 333–358
- Matsui, A (1996):** “On cultural evolution: social norms, rational behaviour, and evolutionary game theory”. Journal of the Japanese and international economies, 10: 262-294
- Maynard Smith, John (1972):** “Game theory and the evolution of fighting”, pp. 8–28 On evolution, Edinburgh: Edinburgh University Press, 401, 420
- Maynard , J. y Price, G. R. (1973):** The Logic of Animal Conflict Nature, Lond. 246, 15-18.
- Nash, J.F. (1950:1):** “Equilibrium Points in n-Person Games”. Proceedings of the National Academy of Sciences 36, 48-49.
- Nash, J.F. (1950:2):** “The Bargaining Problem”. Econometrica 18, 155-162.
- Nash, J.F. (1951):** “Non-Cooperative Games”. Annals of Mathematics 54, 286-295.
- Nash, J.F. (1953):** “Two-Person Cooperative Games”. Econometrica 21, 128-140.
- Nikoo M.R., Kerachian R. y Poorsepahy-Samian H. (2012):** “An interval parameter model for cooperative interbasin water resources allocation considering the water quality issues”. Water Resour Manage. Volume 26, pp 3329-3343
- Ostrom, E. (1990):** “Governing the Commons: The Evolution of Institutions for Collective Action”. New York: Cambridge University Press
- Parsapour-Moghaddam, P. et al (2015):** “A Heuristic Evolutionary Game Theoretic Methodology for Conjunctive Use of Surface and Groundwater Resources”. Water Resources Management, 1-14.
- Pérez y Parra (2009):** “Estructura productiva y actualización del Marco Input-Output de Aragón. Año 2005”. Zaragoza: Consejo Económico y Social de Aragón.

Rafipour-Langeroudi, M., Kerachian, R. y Bazargan-Lari, M. R. (2014):

“Developing operating rules for conjunctive use of surface and groundwater considering the water quality issues”. *KSCE J Civ Eng* 18: 454–461

Remans, W. (1995): "Water and War." *Humantäres Völkerrecht*, 8.

Roth, A.E., (1984): "The Evolution of the Labor Market for Medical Interns and Residents: A Case Study in Game Theory," *Journal of Political Economy*, Vol. 92, 991-1016

Sagardoy, J.A. (2001): “Capítulo 4 - Las asociaciones de Regantes” en *Políticas e instrumentos de la gestión del agua en la agricultura*”. Roma: FAO FODEPAL

Saleth R. M y Dinar, A. (2004): “The institutional economics of water: a cross-country analysis of institutions and performance”. Edward Elgar Publishing.

Scarf, H.E (1967): “The Core of an N Person Game”. *Econometrica*, 35, 50–69.

Sechi, C.M., Zucca, R. y Zuddas, P. (2013): “Water Costs Allocation in Complex Systems Using a Cooperative Game Theory Approach”. *Water Resources Management* 27, 1781-1796

Selten, R. (1965): "Spieltheoretische Behandlung eines Oligopolmodells mit Nachfragenträgheit," *Zeitschrift für die gesamte Staatswissenschaft*, 12, 201-324.

Shapley, L.S. (1953): "A value for N-person Games" in *Contributions to the Theory of Games*, Vol II, H. Kuhn and A.W. Tucker (Eds), Princeton University Press, Princeton, NJ.

Schmeidler, D. (1969): “The Nucleolus of a Characteristic Function Game,” *SIAM J. Appl. Math.* 17, 1163-1170.

Thiessen, E.M. y Loucks, D.P. (1992): Computer-assisted negotiation of multiobjective water resources conflicts. *Water Resources Bulletin* 28, 163–177.

Thiessen, E.M., Loucks, D.P. y Stedinger, J.R., (1998): Computer-assisted negotiations of water resources conflicts. *Group Decision and Negotiation* (7), 109–129

Von Neumann, J (1928): Zur Theorie der Gesellschaftsspiele, *Math. Annalen* 100, 295-320.

- Von Neumann, J y Morgenstern, O (1944):** “Theory of Games and Economic Behavior”, Princeton University Press.
- Walker, P (2005):** "A Chronology of Game Theory". Publicado en su página web personal perteneciente al departamento de economía de la Universidad de Canterbury.
- Wei, S.K., Yang, H., Abbaspour, K., Mousavi, J y Gnauck, A. (2010):** “Game theory based models to analyze water conflicts in the Middle Route of the South-to-North Water Transfer Project in China”. Water Res 44, 2499–516
- Weibull, J.W. (1995):** “Evolutionary Game Theory”. MIT Press, Cambridge, Massachusetts.
- Wolf, A. T. (1995):** “Hydropolitics along the Jordan River: Scarce Water and its Impact on the Arab-Israeli Conflict”. Tokyo: United Nations University Press
- Wolf, A. T. (1998):** “Conflict and cooperation along international waterways”. Water Policy. Vol. 1. pp. 251-265.