



VALORACIÓN ECONÓMICA DE LOS BENEFICIOS AMBIENTALES DEL TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES DE LA CUENCA HIDROLÓGICA DEL DUERO.

ECONOMIC VALUATION OF THE ENVIRONMENTAL BENEFITS OF WASTEWATER TREATMENT IN THE DUERO HYDROLOGICAL BASIN.

MÁSTER UNIVERSITARIO EN HIDROLOGÍA Y GESTIÓN DE RECURSOS HÍDRICOS

Presentado por:

D^a ANA HERNÁNDEZ GARCÍA

Dirigido por:

D. ALBERTO DEL VILLAR GARCÍA

Alcalá de Henares, a 2 de julio de 2021.

AGRADECIMIENTOS

A mi tutor Alberto, por haberme guiado en todo momento en la realización de este trabajo.

A mis padres, por apoyarme y estar siempre trabajando para nosotros.

A mi hermano, por parecerme bien todo aquello que quiera hacer y apoyarme en ello.

A mi novio, por el apoyo que me ha ofrecido siempre, por cada buen momento a su lado, por llegar a casa y tener un hombro donde llorar, donde reír, porque está ahí para un simple abrazo, para calmarme. Gracias por todo.

A mis amigos, por ofrecer su apoyo, risas y llantos.

A Sara Sanz, empezaste siendo una compañera de clase y te convertiste en una auténtica amiga, por tener paciencia, sabiduría y un corazón enorme para ayudarme en todo lo que he necesitado.

A Fer, por cuidarme como si fuese tu hermana pequeña y ayudarme en todo el proceso.

ÍNDICE

RESUMEN.....	1
1. INTRODUCCIÓN.....	2
2. OBJETIVO.....	5
3. METODOLOGÍA.....	6
3.1. Análisis de los costes.....	8
3.2. Análisis de los beneficios.....	10
4. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	14
4.1. Localización geográfica.....	14
4.2. Marco físico y biológico.....	15
4.3. Aspectos socioeconómicos.....	16
4.4. Presiones.....	17
4.5. Programa de control.....	19
4.6. Programa de medidas.....	20
5. BENEFICIOS E INCONVENIENTES DE LA DEPURACIÓN.....	22
5.1. Obligación en el cumplimiento de la Directiva 271/91/CE.....	22
5.2. Directiva Marco del Agua.....	23
5.3. Mejora del bienestar social.....	24
6. RESULTADOS.....	26
6.1. Beneficios del cumplimiento de la Directiva Europea.....	26
6.2. Beneficio de la sociedad por tener las masas de agua en buen estado.....	27
7. DISCUSIÓN.....	32
8. CONCLUSIONES.....	33
9. BIBLIOGRAFIA.....	34

ÍNDICES DE FIGURAS

Figura 1. Cuenca del Duero y localización.....	14
Figura 2. Cartografía de la cuenca del Duero.....	15

ÍNDICES DE TABLAS

Tabla 1. Definiciones de los elementos de costes.....	8
Tabla 2. Valores de Uso y Valores de No Uso.....	11
Tabla 3. Presiones puntuales sobre las masas de agua.....	18
Tabla 4. Requisitos para los vertidos procedentes de instalaciones de tratamiento de aguas residuales urbanas.....	19
Tabla 5. Indicadores de impactos.....	20
Tabla 6. Programa de medidas.....	21
Tabla 7. Estaciones depuradoras que incumplen la Directiva.....	26
Tabla 8. Disponibilidad a pagar en 2009 de la población de Castilla y León.....	28
Tabla 9. Disponibilidad a pagar en 2020 de la población de Castilla y León.....	29
Tabla 10. Costes de las depuradoras año 2020 para una calidad de agua buena.....	30
Tabla 11. Costes de las depuradoras año 2020 para una calidad de agua muy buena.....	31

TABLA DE ABREVIATURAS

BOE: Boletín Oficial del Estado.

CAE: Coste Anual Equivalente.

CONAMA: Congreso Nacional del Medio Ambiente.

DAA: Disponibilidad a aceptar.

DAP: Disponibilidad a pagar.

DBO: Demanda Biológica de Oxígeno.

DMA: Directiva Marco de Agua.

DQO: Demanda Química de Oxígeno.

EDAR: Estación Depuradora de Aguas Residuales.

INE: Instituto Nacional de Estadística

IPC: Índice de Precios de Consumo

Hab-eq: Habitantes equivalentes.

mg/L N: Miligramos litro de Nitrógeno.

mg/L P: Miligramos litro de Fósforo.

RESUMEN.

Las aguas residuales son un contaminante mayoritario de los recursos hídricos en la naturaleza. Como consecuencia existen políticas ambientales para la regulación de los recursos hídricos que influyen de manera decisiva en la mejora y sostenibilidad del medio natural. Así la Directiva Marco del Agua es la norma que rige en toda la Unión Europea, persiguiendo el buen estado de las masas de agua.

La valoración económica trata de obtener una medición monetaria de la mejora del bienestar social, siendo una herramienta útil para obtener las preferencias expresadas de los individuos.

El objetivo de este trabajo es estimar una valoración económica de los beneficios aportados por una mejora en la calidad de depuración de las masas de agua, a través del cumplimiento de la legislación y una cuantificación del beneficio económico por evitar sanciones.

Se ha demostrado que la consecución de la buena calidad en las masas de agua consigue evitar una gran cantidad de costes de depuración. Además, si el estado de las aguas depuradas pasa a ser muy bueno se obtendrá un beneficio económico.

Además, el beneficio individualizado resulta ser bajo, lo que demuestra el escaso valor que se le da a las cuestiones ambientales por parte de la sociedad.

1. INTRODUCCIÓN.

El medio natural es la base principal para el desarrollo social y económico. Este ofrece un flujo de bienes y servicios ecosistémicos que, a su vez, dependen del buen estado y conservación de los recursos naturales y del medio ambiente. La sociedad no solo depende de los bienes y servicios generados en la actividad económica, sino que también, depende de la calidad del medio ambiente.

Si bien es cierto, se conoce intuitivamente que los recursos naturales son importantes, pero, esto no basta para garantizar el uso racional de los mismos. La ausencia de la valoración económica de estos recursos puede desencadenar una sobreexplotación, así como un uso inadecuado, y como consecuencia, se pueda ver perjudicado los servicios ecosistémicos.

El desarrollo sostenible y la conservación ambiental actualmente constituyen una búsqueda constante que implica a todas las ramas del conocimiento, siendo un problema de alcance global. Los cambios que han sucedido en el último decenio en el mundo han dotado a las organizaciones con una mayor competencia y eficiencia a la hora de administrar sus recursos, prestando mayor atención a los recursos intangibles, por lo tanto, la gestión del capital natural ha adquirido un especial interés en las organizaciones. Los recursos intangibles actualmente constituyen la verdadera fuente de creación de valor de las organizaciones, por lo que, se ha vuelto necesario gestionarlos como recursos tangibles. Estos últimos son de gran importancia respecto al capital humano, ya que no hay ningún activo tangible o intangible que genere valor si previamente no existe un acto humano que lo movilice.

Una de las consecuencias más característica de los últimos años es el cambio climático, provocando que cada vez se produzcan menos precipitaciones en determinadas zonas o que se sequen ríos. Por ello, el agua no puede entenderse como un bien ilimitado.

“El agua es considerada como un recurso esencial para el mantenimiento del bienestar humano y para garantizar el correcto funcionamiento de los ecosistemas” (Falkenmark, 2003; Willaarts et al., 2012).

El sistema español de gestión del agua se asienta en los principios del siglo XX en la planificación hidrológica por ser la herramienta más eficaz, ya que permite la identificación de las medidas que hacen posible llevar a cabo esa distribución de manera sostenible, desde un punto de vista económico, social y medioambiental.

Sin embargo, la generación de aguas residuales por las diferentes actividades humanas (mayoritariamente de usos domésticos e industriales) representa un problema de magnitud cuyo crecimiento es constante y, siendo agravado en grandes poblaciones.

“El agua constituye, por tanto, un elemento crítico para el desarrollo social y económico, caracterizándose por ser, en muchas ocasiones, escaso y por requerir una gestión intensiva en capital, en la que se generan, inevitablemente, consecuencias ambientales” (Green, 2003).

Por ello, en Europa, y por lo tanto en España, la depuración de aguas residuales urbanas es una práctica obligada por la Directiva 91/271/CE de 21 de mayo, cuyo principal objetivo es la protección del medio ambiente debido a los efectos negativos de los vertidos de las aguas residuales urbanas y los sectores industriales. La economía ambiental ha desarrollado varios métodos para otorgar un valor económico a los bienes y servicios medioambientales, así como también, otorgar un valor económico a los impactos ambientales, sirviendo como un indicador para la sociedad. “Los métodos de valoración ambiental son de especial utilidad para enriquecer el análisis coste-beneficio, pues permiten incluir los valores de no-mercado de los impactos ambientales en la evaluación económica y por ende en la toma de decisiones” (Izko & Burneo, 2003). Según Pearce & Turner (1990), “la justificación de dar un valor económico al ambiente se basa en el hecho de que el dinero es utilizado como una medida común para indicar ganancias o pérdidas en el bienestar”.

La valoración contingente se basa en la interacción entre el individuo y el objeto y, como consecuencia el valor que surge de esta interacción, mediante la expresión de preferencias individuales, asumiendo que los cambios producidos suponen una mejora en el bienestar individual.

El concepto de bienestar individual se encuentra en el núcleo de la teoría económica neoclásica, entendiéndose como los beneficios que otorgan los servicios ecosistémicos mediante una valoración monetaria.

La Teoría Económica del Bienestar se desarrolla en la obra de Pigou, *The Economics of Welfare* (1920). Los costes sociales dejan de considerarse un caso especial dentro del análisis económico para considerarse una circunstancia generalizada. “Pigou se basa en la falta de coincidencia entre las aspiraciones de la sociedad como un todo y en las pretensiones económicas de una parte de la sociedad, que es representada por los productores” (Carpintero, 1999).

Romero (1994) “considera que con la Teoría del Bienestar y las reflexiones de Pigou, se habían sentado las bases de la economía ambiental, pero faltaba la presión social para que ésta se desarrollara y estableciera como disciplina de estudio”. Por lo tanto, si la provisión del bien es cada vez mayor, se puede esperar que los individuos aumenten la cantidad que están dispuestos a pagar por este mismo.

“En términos generales, los bienes y servicios ambientales pueden ser evaluados a través de la focalización en los beneficios aportados por los mismos, o bien a través de enfoques de costes. En el primer caso, se trata de la evaluación del valor económico total aportado por los bienes y servicios, ya sea de manera directa, a través de estudios primarios de preferencia revelada, o de preferencia expresada” (Martín-Ortega, 2008). Este enfoque mide el valor que los individuos o la sociedad otorgan a los recursos naturales y los servicios que ofrecen estos. Se realiza mediante la disponibilidad a pagar (DAP) o, alternativamente, la disponibilidad a aceptar (DAA), cuyo principio se basa en el concepto del excedente del consumidor.

2. OBJETIVO.

“La valoración económica de los recursos hídricos proporciona una perspectiva más equilibrada que la asignación y gestión de recursos, y ha servido, en muchos casos, como detonante para dar un giro a los debates sociales relativos a la utilización de los recursos” (Loomis, 2000). El objetivo principal de este trabajo es comparar la valoración de los beneficios que supone la depuración y el buen estado de las masas de agua para la sociedad en la Comunidad Autónoma de Castilla y León, a través de sistemas de valoración económica.

Así mismo, otros objetivos secundarios son:

- La valoración de costes ambientales, siendo estos el precio a pagar por la depuración de las masas de agua.
- La valoración de los costes evitados. Este beneficio se asocia a eliminar el vertido de contaminantes al medio natural, mediante el cumplimiento de la Directiva 271/91/CEE sobre el tratamiento de las aguas residuales urbanas que, incluye requisitos para los vertidos procedentes de instalaciones de tratamiento de aguas residuales urbanas.
- La valoración de los beneficios para la sociedad por tener las masas de agua en buen estado. Para ello se seguirán las directrices de la Directiva Marco de Agua 2000/60/CE.

3. METODOLOGÍA.

La valoración ambiental pretende lograr una medición monetaria de la ganancia o pérdida del bienestar para la sociedad, además, es una herramienta para las políticas ambientales. “La valoración económica significa poder contar con un indicador de la importancia del medio ambiente en el bienestar social, y este indicador debe permitir compararlo con otros componentes del mismo” (Azqueta, 1994).

“La valoración contingente constituye un caso particular de los procedimientos de valoración basados en la construcción de mercados, en el que se estima el valor de los bienes ambientales a través de la preferencia declarada de los consumidores” (Bateman et al., 2002).

La técnica del coste-beneficio es la que se empleará para realizar el análisis en el presente documento. Dicha técnica se relaciona de manera directa con la teoría de la decisión. Determina la idoneidad de un proyecto mediante los costes y beneficios que se derivan de él. Esta relación de elementos se encuentra expresados en términos monetarios para su posterior valoración y evaluación.

Este método estima la disponibilidad a pagar (DAP) por parte de los individuos para la mejora de la calidad ambiental mediante un determinado precio impuesto a dicha mejora. Dicho de otro modo, es la cantidad de dinero que el individuo aportaría para incrementar la utilidad de la mejora ambiental.

Este análisis tiene su fundamento teórico en la Economía del Bienestar, cuyo objetivo es maximizar el bienestar social, mediante una asignación eficiente de los recursos naturales. Para ello, se deben identificar los costes y beneficios sociales del proyecto y su distribución en el tiempo.

Es una metodología válida, reconocida y de gran alcance que se ha aplicado ampliamente al estudio de los recursos hídricos. Entre los estudios se pueden destacar:

- “Estimaciones de precio de opción para mejoras en la calidad del agua” (Desvousges et al., 1987).
- “Los beneficios económicos de las mejoras en la calidad del agua superficial en los países en desarrollo” (Choe et., 1996).
- “Valoración del monitoreo de la calidad del agua” (Spencer et al., 1998).
- “Valor económico del agua potable para las zonas urbanas desfavorecidas” (Dasgupta & Dasgupta, 2004).
- “Estimación de los beneficios económicos de mantener los niveles de los lagos residenciales en un embalse de riego” (Loomis et al., 2005).
- “Disposición a pagar por los suministros de agua en un área urbana del mundo en desarrollo” (Soto Montes de Oca & Bateman, 2006).
- “Valoración de los beneficios de la calidad del agua de los ríos urbanos” (Bateman et al., 2006).
- “Beneficios económicos asociados con las inversiones públicas en el tratamiento de aguas residuales” (Bederli Tümay & Brouwer, 2007).
- “Valoración de los recursos hídricos” (Beluzzo, 2010).

En cuanto a los estudios mencionados hay que destacar las guías prácticas para la valoración económica de los beneficios y costes ambientales en el contexto de la DMA. Por ejemplo, la investigación AquaMoney, una guía sobre la valoración ambiental de recursos hídricos, muchas de las cuales se focalizan en la valoración contingente (Schaafsma & Brouwer, 2006).

Además de numerosos trabajos que analizan la valoración ambiental cuyo centro de la investigación son los valores de existencia, se pueden destacar Carson (1997), Boyle et al. (1994), Smith & Osbourne (1996).

3.1. Análisis de los costes.

En relación con el agua, los análisis financieros son actuaciones en materia de bienes y servicios otorgados por este, mediante el empleo de medidas y relaciones cuantitativas para facilitar la toma de decisiones sobre un proyecto, existiendo diversos bienes y servicios que configuran la depuración de aguas residuales.

Para realizar el análisis de costes de los servicios del agua se ha recogido de la Guía WATECO y del Grupo de Trabajo ECO1. En estas recomendaciones se especifican los costes financieros de la **Tabla 1**.

Concepto	Definición
Coste de operación y mantenimiento	Costes relacionados con la prestación del servicio, incluyendo, costes laborales, energéticos, químicos y de contratación de terceros, así como la conservación de los activos en condiciones de servicio de acuerdo con sus vidas útiles.
Costes de capital	Costes asociados al gasto en activos que se financian externamente mediante préstamos, bonos u otros mecanismos financieros. calculado como una tasa de retorno sobre inversiones alternativas.
Costes administrativos	Costes relacionados con la regulación del servicio del agua, por ejemplo, a través de un sistema de licencias de extracción de agua.
Costes ambientales	Costes asociados al tratamiento de aguas en las depuradoras.
Coste del recurso	Costes relacionados con el beneficio que se deja de obtener por hacer una asignación al recurso en vez de otra.

Tabla 1. Definiciones de los elementos de costes de la Guía WATECO y Grupo de Trabajo ECO1.(Elaborada a partir de la Guía WATECO y Grupo de Trabajo ECO1 https://ec.europa.eu/environment/water/water-framework/economics/pdf/Information_Sheet_ECO1_Cost_Recovery.pdf y [https://circabc.europa.eu/sd/a/cffd57cc-8f19-4e39-a79e-20322bf607e1/Guidance%20No%201%20-%20Economics%20-%20WATECO%20\(WG%202.6\).pdf](https://circabc.europa.eu/sd/a/cffd57cc-8f19-4e39-a79e-20322bf607e1/Guidance%20No%201%20-%20Economics%20-%20WATECO%20(WG%202.6).pdf)).

Para la evaluación de proyectos de inversión se emplean indicadores que incluyen todos los ingresos y desembolsos convertidos en una cantidad anual equivalente.

Este indicador es el Coste Anual Equivalente (CAE). La fórmula para este indicador es la **Ecuación 1**:

$$CAE = CT \frac{r*(1+r)^n}{(1+r)^n - 1} \quad [1]$$

Siendo:

R: tasa de descuento.

N: vida útil.

Se va a tomar como Coste Total la suma de los costes financieros, ambientales y del recurso.

Coste Total = Costes financieros + Costes ambientales + Costes del recurso.

- Los costes financieros son aquellos costes de capital (coste de inversión), y los costes de operación y mantenimiento.
- Los costes ambientales son los asociados al tratamiento de aguas en las depuradoras. “Los costes del daño que los usos del agua imponen sobre el medio ambiente y los ecosistemas y sobre aquellos que usan el medio ambiente”. (Guía Wateco, 2002).
- El coste del recurso es aquel beneficio que se deja obtener por hacer una asignación al recurso en vez de otra.

Por lo tanto, los costes ambientales implican un deterioro y el coste del recurso implica una oportunidad.

A continuación, se describen cada uno de los costes:

- **Costes ambientales.**

El coste ambiental total será la suma de ambos usos, estos datos son del año 2012 luego, se realiza una adaptación al año 2020 mediante el empleo de un índice de precios de consumo.

Para el cálculo de dichos costes se toman datos de la memoria del Plan Hidrológico del Duero. Los datos empleados son los costes ambientales de uso urbano e industrial.

- **Coste de la sanción.**

Para el cálculo de la multa se toma la cuantía del Boletín Oficial del Estado, viernes 20 de marzo de 2020, resolución de 11 de marzo de 2020, de la Secretaría General de Coordinación Territorial, por la que se publica el Acuerdo del Consejo de Ministros de 10 de marzo de 2020, por el que se resuelve el procedimiento de determinación y repercusión de responsabilidades por incumplimiento del Derecho de la Unión Europea en el asunto C-205/17, Comisión/Reino de España, relativo a la no ejecución de la Sentencia de 14 de abril de 2011, Comisión/Reino de España, en el asunto C-343/10 en materia de recogida y tratamiento de aguas residuales.

Este valor se divide entre los habitantes equivalentes obtenidos del BOE y se obtiene un valor semestral que posteriormente se convierte a anual. Con este valor anual, se halla la multa equivalente en Castilla y León, multiplicando dicho valor anual por los habitantes equivalentes de las depurados que incumplen la normativa.

3.2. Análisis de los beneficios.

La valoración del medio ambiente es una tarea compleja ya que presenta muchas fuentes de valor, y no todas estas fuentes se pueden cuantificar con el mismo método ni de forma sencilla.

El concepto de valor económico total, conocido como VET es el concepto más empleado en la evaluación coste-beneficio, empleando tanto los bienes y servicios (tangibles) como aquellos bienes o servicios ecosistémicos (intangibles).

Cuando se habla de externalidades, estas pretenden valorar el coste externo, entendiéndose como el impacto que se genera sobre el medio ambiente. La valoración del coste externo y la valoración del medio ambiente representan lo mismo.

“La valoración económica total es la suma de los conceptos de Valores de Uso y los Valores de No Uso” (Krutilla, 1967). Siendo “los valores de no uso los que se relacionan con el valor que los individuos conceden a los bienes ambientales cuando no existe intencionalidad de uso, es decir, se valora el hecho de su conservación o de su existencia per se, de forma desvinculada del uso presente o futuro” (Krutilla, 1967). Tanto los valores de uso como los de no uso se definen en la **Tabla 2**.

Valor de Uso			Valor de No Uso	
Uso Directo	Uso Indirecto	Valor Opción	Valor de Legado	Valor de Existencia
Productos directamente consumibles	Beneficios derivados de funciones ecosistémicas.	Valores futuros directos e indirectos.	Valores de Uso y No Uso del legado ambiental.	Valor de conocer que todavía existe un componente del medio ambiente.
Alimentos, biomasa, recreación, salud, entre otros.	Control de clima, de suelos, de reciclaje, de nutrientes, entre otros.	Bioprospección, conservación de hábitats, entre otros.	Prevención de hábitats, de cambios irreversibles, entre otros.	Hábitat, especies, genes, ecosistemas, entre otros.

Tabla 2. Valor de Uso y Valor de No Uso. (Tomado de Raffo Lecca, 2016). Fuente: Pearce, David W. & D. Morán (1994).

Por todo esto, existe multitud de beneficios ambientales que se obtienen de los recursos hídricos, de igual modo, existen muchos modos de evaluar dichos beneficios.

Para realizar este análisis se ha utilizado dos métodos:

- **Método de los costes evitados.**

Este método trata de estimar el valor de las externalidades en el medio ambiente. De este modo, al evitar las externalidades que pueden ser cuantificadas monetariamente, se obtiene un valor ambiental, es decir, valora el servicio ambiental en caso de tener que proporcionarlo directamente.

Para el cálculo de este beneficio se parte del BOE, Viernes 20 de marzo de 2020, resolución de 11 de marzo de 2020, de la Secretaría General de Coordinación Territorial, por la que se publica el Acuerdo del Consejo de Ministros de 10 de marzo de 2020, por el que se resuelve el procedimiento de determinación y repercusión de responsabilidades por incumplimiento del Derecho de la Unión Europea en el asunto C-205/17, Comisión/Reino de España, relativo a la no ejecución de la Sentencia de 14 de abril de 2011, Comisión/Reino de España, en el asunto C-343/10 en materia de recogida y tratamiento de aguas residuales. En el cual se recoge la sanción impuesta por las instituciones europeas al Reino de España de 10,35 millones de euros al semestre por las 8 aglomeraciones urbanas que incumplen la sentencia.

Para conocer cuáles son las estaciones depuradoras de la Comunidad Autónoma de Castilla y León, se obtienen de la página web de la Junta de Castilla y León, apartado de datos abiertos de la depuración de las aguas residuales. A través de la anterior información, el beneficio en este apartado será el ahorro de la posible sanción calculada para los 36 municipios de Castilla y León que incumplen la presente sanción, calculado a partir de la multa anteriormente citada entre el número de habitantes equivalentes.

- **Beneficio de la sociedad por tener las masas de agua en buen estado.**

Existen diversas metodologías para valorar este beneficio, siendo la más generalizada en los últimos años la valoración contingente.

La valoración contingente es un método que establece las preferencias y la disposición a pagar de un sujeto mediante la aplicación de una serie de cuestionarios a través del cual el individuo revela sus preferencias.

Existen multitud de estudios previos a nivel europeo, destacando el estudio británico (Soliño et al., 2013) *Improving Water Quality in England and Wales: Local Endowments and Willingness to Pay*. En él, los principales resultados del análisis fueron que la disponibilidad a pagar para mejorar la calidad del agua en un 75% en 8 años fue de 62,27 libras. Por otro lado, para mejorar la calidad del agua en un 95% en 8 años fue de 60,86 libras. Por lo tanto, en ambos enfoques se está produciendo valores similares para mejorar la calidad de las aguas.

A nivel nacional, destaca la Tesis Doctoral de Julia Martín-Ortega, “Los beneficios ambientales de las aguas del Guadalquivir: un análisis económico”, donde estima la disponibilidad a pagar por agua de buena calidad y por un agua de muy buena calidad.

Dado que ya se ha llevado a cabo este ejemplo en la cuenca del Guadalquivir con parámetros muy similares, lo que se va a intentar realizar es una traslación de este estudio hacia la cuenca del Duero.

La Tesis se realiza mediante estudios de valoración contingente mediante preferencias expresadas del conjunto de la demarcación hidrográfica del Guadalquivir con la aportación de mapas y la dimensión espacial como constituyente básico de la valoración.

Mediante los datos aportados por esta tesis se ha ajustado a la cuenca del Duero mediante un índice de ajuste a nivel de renta, a través de la división del producto interior bruto del año 2019 de Castilla y León y el de Andalucía. De esto modo, se intenta adaptar la disponibilidad a pagar en Castilla y León, ya que, al ser distinto el nivel de renta, la cuantía de la disponibilidad a pagar será diferente. Por otra parte, estos datos son del año 2009 y se quiere extrapolar para obtener un valor actual en el año 2020, mediante la multiplicación por el IPC.

A continuación, a partir de la DAP se calcula el beneficio por hogar dividiendo entre el número de personas por hogar de Castilla y León. Después, se multiplica por la población y se obtiene el beneficio por la mejora de la calidad de las masas de agua.

4. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.

4.1. Localización geográfica.

Según la Confederación Hidrográfica del Duero, la demarcación hidrográfica internacional del Duero es la más amplia de la Península Ibérica con 98.073 km², alcanza el territorio de la cuenca hidrográfica del río Duero incluyendo, las aguas de transición del estuario de Oporto y las costeras atlánticas asociadas. Este territorio compartido entre Portugal y España, siendo un 20 % de la superficial total y un 80% respectivamente. Sin embargo, solo se estudiará la parte española de la demarcación cubriendo una superficie territorial de 78.859 km².

La parte territorial española de la demarcación del Duero limita por el noroeste con la demarcación del Miño-Sil, por el norte con la del Cantábrico, al noreste y este con la del Ebro, y al sur con la del Tajo; hacia el oeste la cuenca continua con Portugal. En España, la cuenca se extiende por las comunidades autónomas de Castilla y León, Castilla - La Mancha, Cantabria, Extremadura, Galicia, Asturias, Madrid y La Rioja.

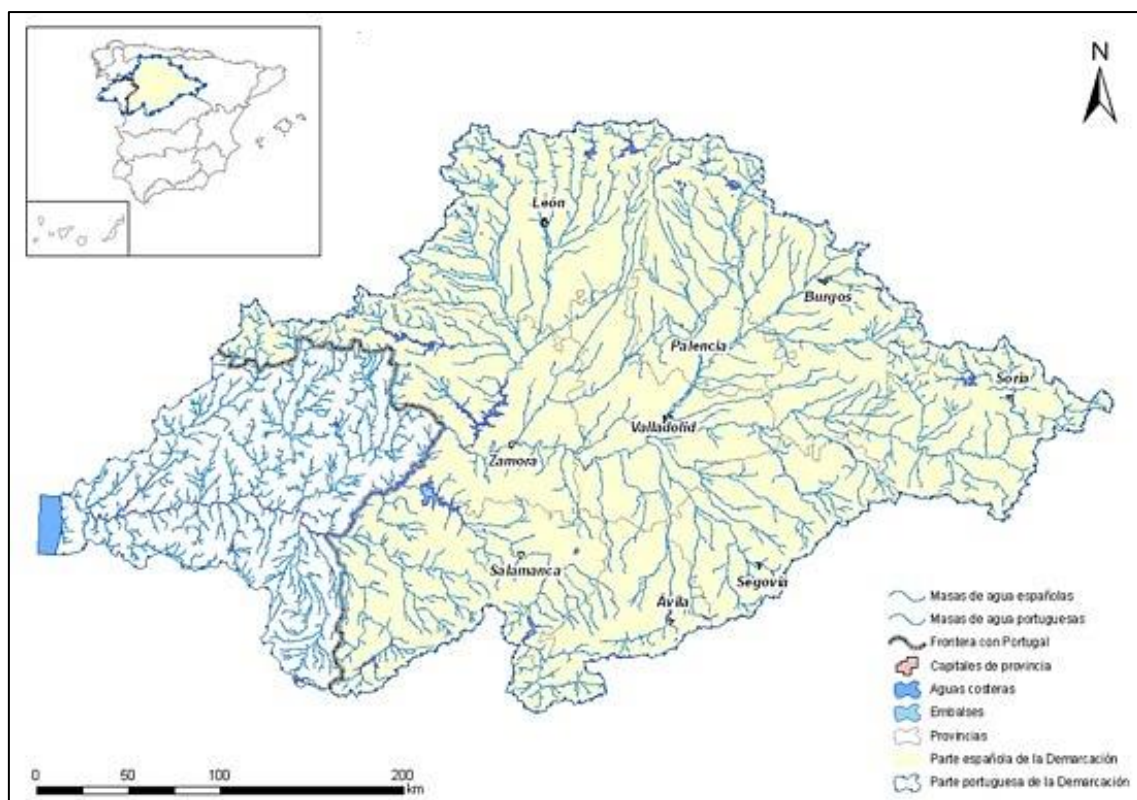


Figura 1. Cuenca del Duero y localización. (Tomada de la Cuenca hidrográfica del Duero: <https://www.chduero.es/la-cuenca-del-duero>).

4.2. Marco físico y biológico.

La cuenca del Duero está formada por una unidad geológica bien definida, por la Depresión del Duero y por los bordes de esta: las Cordilleras Cantábrica, Ibérica y Central y los Montes Galaico - leoneses. Los sedimentos de dicha depresión son de origen terciarios y cuaternarios, lacustre y continental, procedentes del desmantelamiento de las cadenas periféricas y que contempla los mayores acuíferos de la demarcación.

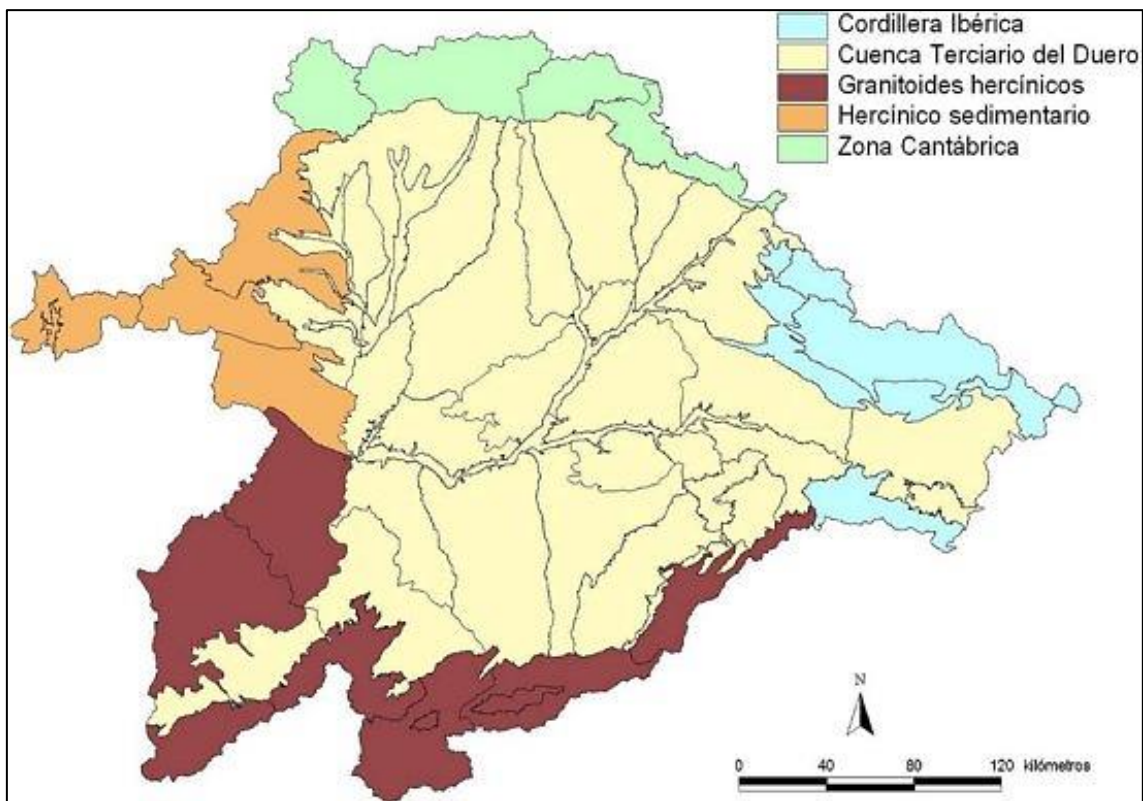


Figura 2. Cartografía de la cuenca del Duero. (Tomada de la Cuenca hidrográfica del Duero: <https://www.chduero.es/la-cuenca-del-duero>).

- **Características hidrológicas generales.**

La cuenca del Duero presenta un clima predominantemente mediterráneo y continentalizado debido al aislamiento orográfico. La región de Los Arribes, siendo la parte más occidental, el clima es más suave debido a la influencia del océano Atlántico y, disminución de la altitud. Esto condiciona el clima mediterráneo y, por este motivo, el 90% de la superficie de la cuenca del Duero está afectada por la sequía estival. Sin embargo, suceden frentes atlánticos cálidos y fríos, ocasionando episodios de inundaciones.

Los inviernos son fríos y largos, sobre todo en las montañas del norte y noreste de la cuenca y en el sistema central, siendo la temperatura media en enero de aproximadamente de 2°C. Sin embargo, los veranos son cortos y suaves.

La precipitación anual de la cuenca del Duero se sitúa en 612 mm, cuyos valores más elevados se registran en las montañas que rodean la cuenca, encontrándose valores por encima de los 1.800 mm en el alto Tera o mayores a 1.500 mm en la montaña de León. Mientras en el Sistema Central e Ibérico las precipitaciones no suelen sobrepasar los 1.000 mm anuales. Sin embargo, los valores más bajos, unos 400 mm, se dan en el bajo Duero, es decir, entre Salamanca, Zamora y Valladolid.

Las precipitaciones anuales suponen un volumen cerca de 50.000 hm³ en toda la cuenca, de los cuales la mayor parte se evapora, alrededor de 35.000 hm³ o bien son aprovechados directamente por la vegetación. Mientras que los 15.000 hm³ restantes constituyen a la escorrentía natural y, que fluyen por los cauces superficiales o incorporándose al agua subterránea mediante las infiltraciones a los acuíferos.

4.3. Aspectos socioeconómicos.

La población de la parte española de la demarcación del Duero ha experimentado un continuado descenso, desde principios de los años sesenta del siglo XX, aunque el ritmo de este descenso se ha visto reducido desde el año 1980. Según el censo de población de 2001, la población del territorio era de 2.153.471 habitantes, mientras que el padrón del 2006 municipal situaba a la población española de la cuenca del Duero en 2.210.541 habitantes.

El territorio español del Duero está repartido entre 1.972 municipios, que agrupan un total de 4.359 núcleos urbanos habitados, de los que 4.000 cuentan con menos de 500 habitantes. Por el contrario, solo 13 núcleos urbanos tienen más de 20.000 habitantes siendo, las nueve capitales de provincia, así como Aranda de Duero, Laguna de Duero, Medina del Campo y San Andrés del Rabanedo.

Las densidades de población se obtienen de los datos anteriores de población y dividiéndolo por la superficie total del territorio. Esta operación da una densidad de población de 28,1 habitantes/km². Solo hay 8 núcleos urbanos con más de 50.000 habitantes que representan un 47% de la población total.

La evolución de la población para el futuro indica un estancamiento. Además, el proceso migratorio que ha experimentado por la mayor parte del territorio de la cuenca del Duero no ha significado un abandono masivo de la actividad agraria pero sí, en la productividad se ha ido reduciendo en su conjunto, de igual modo que ha sucedido en el resto de los sectores productivos, como consecuencia del éxodo rural.

4.4. Presiones.

Las presiones o incidencias antrópicas sobre las masas de agua de la demarcación hidrográfica se recopilaron en un inventario indicando el tipo de contaminación, así como su magnitud. Se llevo a cabo por el Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente y por la propia Confederación Hidrográfica del Duero.

El inventario de presiones es fundamental para la identificación de las causas del deterioro del estado de las masas de agua, de este modo, se consigue actuar sobre las incidencias para poder lograr la restauración del buen estado de las masas de agua mediante la eliminación de las citadas presiones o compensando las citadas presiones a través de los diferentes programas de medidas.

A continuación, se muestra la contaminación significativa originada por fuentes puntuales producida fundamentalmente por las actividades urbanas, industriales, o cualquier otro tipo de actividad económica (ver **Tabla 3**). Para la identificación la confederación hidrológica trabajó con el censo de vertidos del año 2014.

Tipo de fuente puntual de contaminación	Número
Vertidos urbanos de magnitud superior a 250 habitantes equivalente	1.078
Vertidos industriales	Total: 422 No biodegradables: 109 Biodegradables o mixtos: 313
Vertidos de plantas de tratamiento de fangos	235
Vertidos de piscifactorías con volumen superior a 100.00 m ³ /año.	22
Vertido de aguas de achique de minas con volumen superior a 100.000 m ³ /año y reboses significativos de las aguas de pozos de mina abandonados que viertan a los cauces	2
Vertidos térmicos procedentes de las aguas de refrigeración con un volumen superior a 100.000 m ³ /año. Deberá distinguirse si se trata de aguas procedentes de centrales de generación de electricidad o de otro tipo de industrias.	Centrales de generación:4 Otras industrias: 1
Vertidos de aguas de tormenta significativos procedentes de poblaciones, zonas industriales, carreteras u otro tipo de actividad humana, a través de aliviaderos y otras canalizaciones o conducciones.	9
Vertederos e instalaciones para la eliminación de residuos al menos los de superficie mayor de 1 ha y que se encuentren situados a una distancia inferior de un kilómetro de la masa de agua superficial más próxima, indicando si se trata de residuos peligrosos, no peligrosos o inertes, de acuerdo con la clasificación del Artículo 4 del Real Decreto 1481/2001, de 27 de diciembre, por el que se regula la eliminación de residuos mediante depósito en vertedero.	27
Otras fuentes puntuales significativas.	No se ha identificado ninguna.
Número total de fuentes puntuales	1.529 (1.078 urbanos + 451 industriales)

Tabla 3. Presiones puntuales sobre las masas de agua. (Tomada del Plan Hidrológico de la parte española de la demarcación hidrográfica del Duero 2015-2021 https://www.chduero.es/documents/20126/89007/PHD15-000_00_Memoria-v03_08.pdf).

En cuanto a la contaminación significativa originada por fuentes difusas proceden de actividades como la agricultura, ganadería, vertidos accidentales y otras fuentes de contaminación difusas.

Según el Real Decreto 509/1996, de 15 de marzo, de desarrollo del Real Decreto-ley 11/1995 de 28 de diciembre, por el que se establecen las normas aplicables al tratamiento de aguas residuales urbanas, los requisitos son los que se muestran en la **Tabla 4**.

Parámetros	Concentración
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO ₅ a 20°C) sin nitrificación	25 mg/l O ₂
Demanda química de oxígeno (DQO)	125 mg/l O ₂
Total de sólidos en suspensión	35 mg/l de conformidad con el apartado 3 del art. 5 R.D.L. (más de 10.000 hab-eq) 60 mg/l de conformidad con el apartado 3 del art. 5 R.D.L. (2.000 a 10.000 hab-eq).
Fósforo total	2 mg/l P (de 10000 a 100000 hab-eq). 1 mg/l P (más de 100.000 hab-eq).
Nitrógeno total	15 mg/l N (de 10000 a 100000 hab-eq). 10 mg/l N (más de 100000 hab-eq).

Tabla 4. Requisitos para los vertidos procedentes de instalaciones de tratamiento de aguas residuales urbanas. (Elaborada a partir del Real Decreto 509/1996, de 15 de marzo, por el que se establecen las normas aplicables al tratamiento de las aguas residuales urbanas <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-1996-7159>).

4.5. Programa de control.

Los programas de control determinan el estado de las masas de agua para tener una visión global y completa de su estado en la demarcación hidrológica. Esto se debe a la Directiva Marco de Agua, cuyo artículo 8 establecía programas de seguimientos para saber el estado de cada una de ellas (ver **Tabla 5**).

Impactos

Contaminación por nutrientes
Contaminación orgánica
Contaminación química del agua
Contaminación química del sedimento
Contaminación salina
Acidificación
Temperaturas elevadas
Hábitats alterados como consecuencia de modificaciones hidrológicas y morfológicas
Otros tipos de impactos

Tabla 5. Indicadores de impactos. (Tomada del Plan Hidrológico de la parte española de la demarcación hidrográfica del Duero 2015-2021 https://www.chduero.es/documents/20126/89007/PHD15-000_00_Memoria-v03_08.pdf).

4.6. Programa de medidas.

El programa de medidas es una parte elemental de la planificación hidrológica. Se lleva a cabo mediante una recopilación de actuaciones que afectan a las masas de agua, son efectuadas por diferentes autoridades administrativas competentes de la Demarcación (ver **Tabla 6**).

Este programa es el resultado de un proceso participativo de análisis de las alternativas para lograr alcanzar los objetivos en la planificación.

La aplicación de los programas de medidas son objeto de un seguimiento continuo, además, realizar una recopilación y análisis de cada medida y el grado de aplicación.

Medidas

Reducción de la contaminación puntual

Reducción de la contaminación difusa

Reducción de la presión por extracción de agua

Mejora de las condiciones morfológicas

Mejora de las condiciones hidrológicas

Mejora de la conservación y mejora de la estructura y funcionamiento de los ecosistemas acuáticos

Mejoras que no aplican sobre una presión concreta pero sí sobre un impacto identificado

Medidas generales a aplicar sobre los sectores que actúan como factores determinantes

Medidas generales a aplicar sobre los sectores que actúan como factores determinantes

Medidas específicas de protección del agua potable no ligadas directamente ni a presiones ni a impactos

Medidas específicas para sustancias prioritarias no ligadas directamente ni a presiones ni a impactos

Medidas relacionadas con la mejora de la gobernanza

Medidas relacionadas con el incremento de los recursos disponibles

Medidas de prevención de inundaciones

Medidas de protección frente a inundaciones

Medidas de preparación frente a inundaciones

Medidas de recuperación y revisión tras inundaciones

Medidas para satisfacer otros usos asociados al agua

Tabla 6. Programa de medidas. (Elaborada a partir del Plan Hidrológico de la parte española de la demarcación hidrográfica del Duero 2015-2021
https://www.chduero.es/documents/20126/89007/PHD15-000_00_Memoria-v03_08.pdf)

5. BENEFICIOS E INCONVENIENTES DE LA DEPURACIÓN.

Los sistemas de depuración son necesarios para la mejora del medio ambiente, además, como se ha mencionado anteriormente, son sistemas de obligado cumplimiento. Por lo tanto, la mejora de la calidad de las aguas presenta un beneficio directo sobre el medio ambiente al verse beneficiado por el tratamiento de las aguas residuales urbanas y, evitando el deterioro ambiental.

5.1. Obligación en el cumplimiento de la Directiva 271/91/CE.

“Los aportes de aguas residuales a los cauces receptores son el origen de diversos problemas de alteración de la biota establecida en estos ecosistemas, generando sobre todo el empeoramiento en los procesos de eutrofización debido al aporte de nutrientes (nitrógeno y fósforo)” (Stapleton et al., 2000). Sin embargo, esta situación se está controlando mediante las medidas legislativas presente en la Directiva 271/91/CE y con su incorporación en España mediante el R.D. Ley 11/1995 y R.D. 509/1996.

Según el BOE del 20 de marzo de 2020, en el año 1991 la Unión Europea aprobó la Directiva 91/271/CEE, modificada por la Directiva 98/15/CEE, que regula en términos de recogida, tratamiento, depuración y vertido de las aguas residuales urbanas, dando como plazo hasta el año 2001 para que cada Estado miembro adaptara las infraestructuras municipales a los nuevos requerimientos.

La Directiva establecía que las aglomeraciones urbanas mayores de 15.000 habitantes debían cumplir unos requisitos mínimos en cuanto a la depuración de aguas residuales urbanas, cuyo objetivo es evitar el vertido sin control a los ríos y mares, mediante la construcción de colectores y estaciones de depuración de aguas residuales (EDAR). Sin embargo, en 2001 muchas localidades de España no se habían adaptado a esta Directiva.

Fue en 2010 cuando la Comisión Europea llevo al Estado español ante la Justicia europea para comprobar que varias aglomeraciones urbanas con más de 15.000 habitantes no contaban con sistemas colectores ni sistemas de tratamiento de las aguas residuales urbanas.

La sentencia del Tribunal de Justicia de la Unión Europea de 14 de abril de 2011, Comisión Europea, Asunto C-343/10, declaró que España había incumplido la Directiva 91/271/CEE del consejo, de 21 de mayo de 1991, sobre el tratamiento de las aguas residuales urbanas, al no adaptar las medidas necesarias en relación con la recogida y/o tratamiento de las aguas residuales urbanas de 38 aglomeraciones urbanas de más de 15.000 habitantes de conformidad con los artículos 3 y 4 de la citada directiva.

En la sentencia no hay sanción, pero la Comisión Europea dio un nuevo plazo para su cumplimiento, siendo el año 2013 para la adaptación de las infraestructuras de depuración de aguas residuales.

De nuevo, en abril de 2017, la Comisión Europea denuncia a España por el continuo incumplimiento de la sentencia de 2011 en 18 localidades de más de 15.000 habitantes. El 25 de julio de 2018 el Tribunal de Justicia de la Unión Europea dictó sentencia, en el asunto C-205/17, condeno a España por el incumplimiento de la sentencia de 2011. El importe de la sanción fue de 12 millones y una multa coercitiva de 10,95 millones de euros por cada nuevo semestre de retraso.

La multa se aplica en 17 localidades que en 2013 no habían cumplido la obligación de la depuración de aguas residuales urbanas. En julio de 2018, cuando se dicta sentencia, ocho de ellas ya se habían puesto al día, pero todavía había nueve localidades que seguían sin contar con un tratamiento para las aguas residuales urbanas.

En 2020, la localidad de Tarifa ya cumplía con sistemas de depuración de las aguas residuales urbanas, pero, todavía hay ocho localidades sin poner solución. Al cumplir esta localidad la multa coercitiva se redujo a 10,35 millones de euros.

5.2. Directiva Marco del Agua.

Las aguas de la Comunidad Europea están sometidas a un aumento de presión que supone un continuo crecimiento de su demanda. En términos de buena calidad y en cantidades suficientes para todos los usos, surge la necesidad de tomar medidas para la protección de las aguas en términos cualitativos y cuantitativos, así como, garantizar su sostenibilidad.

La Directiva Marco Europea del Agua (DMA) surge ante la necesidad de cohesionar actuaciones relacionadas con la gestión de agua en la Unión Europea. Constituye una norma ambiental que incluye a la economía como herramienta de análisis y de soporte para la toma de decisiones, estableciendo un mecanismo elemental en la política del agua.

La trasposición de la Directiva 2000/60/CE en España se realizó mediante la Ley 62/2003, de 30 de diciembre. La principal novedad que supuso fue la introducción del concepto de estado ecológico de las masas de agua superficiales, siendo una expresión de la calidad de la estructura y funcionamiento del sistema acuático, es decir, la necesidad de alcanzar los objetivos ambientales mediante el diseño y un programa de medidas.

La DMA supuso la primera introducción de los términos beneficios y costes ambientales. “Los costes ambientales (entendidos como beneficios perdidos), como los costes derivados del daño que los usos del agua imponen sobre el ambiente, los ecosistemas y sus usuarios” (Comisión Europea, 2003).

5.3. Mejora del bienestar social.

La depuración de las aguas residuales presenta una gran variedad de ventajas para la sociedad que la convierten una actividad muy valiosa. A continuación, se expondrán algunas de ellas, pero conviene señalar que, las aguas depuradas pueden tener una reutilización directa o indirecta. A continuación, se recopilan algunas de las ventajas descritas por varios autores:

- “Son un recurso estable, pues las aguas residuales se obtienen de la actividad humana de una manera continua” (CONAMA 9, 2008).
- “Con la calidad de la depuración actual, permite liberar agua potable de diversos usos que no requieren agua de alta calidad, pudiendo reservar el agua de mejor calidad para usos domésticos y gestionando mejor los recursos” (CONAMA 9, 2008).

- “Permite reducir la sobreexplotación de las fuentes hídricas, ya sea mediante su vertido al medio natural o su posterior reutilización, contribuyendo a restaurar el equilibrio entre ritmo de extracción y generación de las aguas” (Melgarejo, 2009).
- “Permiten reducir la contaminación por el vertido de aguas al medio natural debido al tratamiento que reciben, haciendo que el impacto ambiental sea menor que en caso de verter las aguas residuales directamente” (Prats, 2016).
- “Permite disminuir el desvío de agua dulce de los ecosistemas sensibles, que puede causar el deterioro de la calidad del agua y del ecosistema, al liberar grandes volúmenes de agua para el medio ambiente e incrementar los flujos vitales para los ecosistemas” (Mas, 2016).
- “Permite la utilización del agua para la creación o mantenimiento de hábitat en humedales y ríos con problemas, que aportan diversos beneficios” (Mas, 2016).

“Estas ventajas de la actividad de la depuración y reutilización de aguas dan lugar a la posibilidad de llevar a cabo nuevas estrategias de política hídrica que aprovechen oportunidades no consideradas anteriormente, pero no individualmente, sino como un elemento clave de la planificación integral de los recursos hídricos” (Anderson, 2003).

6. RESULTADOS.

6.1. Beneficios del cumplimiento de la Directiva Europea.

Actualmente, según los datos de la Junta de Castilla y León a fecha de 3 de junio de 2021, existe en la Comunidad Autónoma de Castilla y León 36 estaciones depuradoras de aguas residuales que no cumple la Directiva 271/91/CEE, sobre el tratamiento de las aguas residuales urbanas (ver **Tabla 7**).

Nombre de la planta	Capacidad Hab-Eq
Castrojeriz	2500
Astudillo	2600
Venta de Baños	18000
Grijota	8000
Ágreda	13204
Fresno el Viejo	2800
Nava del Rey	2500
Quintanilla de Onésimo	2500
Serrada	3000
Santa Cristina de la Polvorosa	3400
Mombeltrán	10685
Quintanar de la Sierra	3538
Valdorros	2118
Cistierna	14000
Mansilla de las Mulas	4800
Carrión de los Condes	3600
Villavieja de Yeltes	2000
Vitigudino	6500
Ayllón	2700
Cistérniga	10530
Rueda	3900
La seca	3000
Villalón de Campos	3117
Villanueva de Duero	2700
San Cristóbal de Entreviñas	5250
Trespaderne	2800
Paredes de Nava	12752
Calabazanos	3527
Villarramiel	8141
Candelario	3300
Ledrada	3500
Aldeamayor de San Martín	4340
Matapozuelos	2000
Portillo	5200
Fermoselle	3300
Morales del Vino	2955
Total	188.757

Tabla 7. Estaciones depuradoras que incumplen la Directiva 271/91/CEE. (Elaborada a partir de los datos de la Junta de Castilla y León <https://datosabiertos.jcyl.es/web/jcyl/set/es/medio-ambiente/depuracion-aguas-residuales-urbanas/1285062526955>).

En el BOE, de acuerdo con el primer grupo de depuradoras e instalaciones que no cumplían se obtuvo un resultado de una sanción 10,35 millones de euros. Si la población equivalente que establece el BOE para esta sanción es de 358.440 habitantes, la sanción por habitante equivalente será:

$$\frac{10.355.519,67 \text{ €}}{358.440 \text{ habitantes equivalentes}} = 28,89 \text{ €/hab} - \text{eq.}$$

Esta cantidad de 28,89 € será pagada de forma semestral. Por lo tanto, la sanción anual asciende a 57,78 € / hab-eq.

Las 36 depuradoras que no cumplen en Castilla y León presentan una población equivalente de 188.757 habitantes y la multa por incumplimiento es de 10.355.519,67 millones de euros semestrales, por lo que la sanción por no depurar es de:

$$188.757 \times 57,78 \text{ €} = 10.906.379,46 \text{ €.}$$

En conclusión, la realización de la depuración en estos núcleos significaría que se evitaría una sanción anual de 10,90 millones de euros, siendo este el coste evitado.

6.2. Beneficio de la sociedad por tener las masas de agua en buen estado.

Para calcular el beneficio de la sociedad se obtiene a partir de la Tesis Doctoral de Julia Ortega-Martín, en cuyo trabajo la disponibilidad a pagar en la cuenca del Guadalquivir es de 31,8 € por hogar y año para un agua buena, y 39,42 € por hogar y año para un agua muy buena.

La cuenca del Guadalquivir presenta muchas similitudes con la cuenca del Duero, para estimar la disponibilidad a pagar se realiza un índice de ajuste del nivel de renta.

El ajuste de nivel de renta se recoge el PIB per cápita del año 2019 del Instituto Nacional de Estadística (https://www.ine.es/prensa/cre_2019_2.pdf), dando unos valores de PIB para la Comunidad Autónoma de Andalucía de 19,633 y, para la Comunidad Autónoma de Castilla y León de 24,886.

A continuación, se halla el índice de ajuste de renta para realizar una extrapolación de los datos:

$$I = \frac{PIB \text{ Andalucía}}{PIB \text{ Castilla y León}} = \frac{24,886}{19,633} = 1,27$$

Por lo tanto, la disponibilidad a pagar en Castilla y León será el resultado de multiplicar la disponibilidad a pagar en el año 2009 en la cuenca del Guadalquivir por el índice calculado anteriormente.

$$\text{Para agua buena: } 31,8 \times 1,27 = 40,39 \text{ €}$$

$$\text{Para agua muy buena: } 39,42 \times 1,27 = 50,06 \text{ €}$$

Disponibilidad a pagar año 2009 (€ por hogar y año)

Agua buena	40,39
Agua muy buena	50,06

Tabla 8. Disponibilidad a pagar en 2009 de la población de Castilla y León. Elaboración a partir de la Tesis Doctoral Los beneficios ambientales de las aguas del Guadalquivir: un análisis económico https://centrodeestudiosandaluces.es/datos/factoriaideas/ifo14_09.pdf e Instituto Nacional de Estadística https://www.ine.es/prensa/cre_2019_2.pdf.

Esta disponibilidad a pagar está calculada para el año 2009, por lo que se realiza una corrección monetaria para hallar el valor actual (año 2020). Dicha corrección se realiza mediante los datos aportados en la web del INE, en el apartado de cálculo de variaciones del Índice de Precios de Consumo (IPC) (<https://www.ine.es/varipc/>).

Disponibilidad a pagar año 2009 (€ por hogar y año)		IPC	Valor actual año 2020 (€ por hogar y año)
Agua buena	40,39	13,9 %	56,14
Agua muy buena	50,06		69,58

Tabla 9. Disponibilidad a pagar en 2020 de la población de Castilla y León. Elaboración a partir de la Tesis Doctoral Los beneficios ambientales de las aguas del Guadalquivir: un análisis económico https://centrodeestudiosandaluces.es/datos/factoriaideas/ifo14_09.pdf y <https://www.ine.es/varipc/verVariaciones.do?idmesini=1&anyoini=2009&idmesfin=1&anyofin=2020&ntipo=1&enviar=Calcular>).

Se puede observar que existe una diferencia entre la calidad buena y la muy buena de 13,44 €. Es decir, la población estaría dispuesta a pagar un 24% más por tener una calidad muy buena de agua.

Para hallar el beneficio por hogar de Castilla y León a partir de la disponibilidad a pagar basta con dividir la DAP entre el número de personas por hogar en Castilla y León. En esta Comunidad Autónoma el número medio de personas por hogar se considera 2,3.

$$\frac{56,14 \text{ € por hogar y año}}{2,3 \text{ número de personas por hogar}} = 24,41 \text{ €}.$$

Se multiplica ese valor por la población de Castilla y León en 2020 (2.394.918 *habitantes*) para obtener el beneficio total en la Comunidad.

$$24,41 \text{ €} \times 2.394.918 \text{ habitantes CyL} = 58.456.824,57 \text{ €}$$

Para la DAP en el caso del agua muy buena se requiere realizar las mismas operaciones cambiando el valor de la DAP a 69,38 €.

Para hallar el beneficio por hogar a partir de la disponibilidad a pagar basta con dividir la DAP entre el número de personas por hogar en Castilla y León.

$$\frac{69,58 \text{ € por hogar y año}}{2,3 \text{ número de personas por hogar}} = 30,25 \text{ €}.$$

Se multiplica ese valor por la población de Castilla y León en 2020 (2.394.918 *habitantes*) para obtener el beneficio total.

$$30,25 \text{ €} \times 2.394.918 \text{ habitantes CyL} = 72.451.475,84 \text{ €}$$

Los costes ambientales de la cuenca del Duero, según la Memoria del Plan Hidrológico del Duero (2015-2021), son los costes ambientales urbanos (32,64 millones de euros) más los costes ambientales industriales (13,66 millones de euros) en el año 2012. Así multiplicado por el IPC (7%) se obtiene el coste ambiental para las depuradoras, que es de 49,54 millones de euros en el año 2020.

Coste depuradoras año 2020	Millones (€)
Coste ambiental	49,53
Multa	10,90
Beneficio agua buena	58,45
Beneficio (análisis coste-beneficio)	19,82

Tabla 10. Costes de las depuradoras año 2020 para una calidad de agua buena.

Como se puede observar en la **Tabla 10**, el beneficio económico por tener el agua en buena calidad añadido al coste evitado de pagar la multa hace que, no sólo se cubran los costes de las depuradoras, sino que se obtenga un beneficio de 19,82 millones de euros que puede ser utilizado en otros objetivos.

Este beneficio se calcula como el beneficio del agua buena más la multa evitada menos el coste ambiental:

$$\text{Beneficio} = (58,45 + 10,90) - 49,53 = 19,82 \text{ millones de euros.}$$

Se evitan los costes de depuración y se obtiene un beneficio además de 19,82 millones de euros.

De la misma manera que para el caso del agua buena, si se tiene en cuenta el beneficio económico por tener el agua de muy buena calidad, no sólo se cubrirán los costes de las depuradoras, sino que se obtendrá un beneficio aún mayor. Esta cantidad asciende a 33,82 millones de euros (ver **Tabla 11**) que puede ser utilizado para la consecución de otros objetivos.

Coste depuradoras año 2020	Millones (€)
Coste ambiental	49,53
Multa	10,90
Beneficio agua muy buena	72,45
Beneficio (análisis coste-beneficio)	33,82

Tabla 11. Costes de las depuradoras año 2020 para una calidad de agua muy buena.

Este beneficio se calcula de la misma forma descrita anteriormente:

$$\text{Beneficio} = (72,45 + 10,90) - 49,53 = 33,82 \text{ millones de euros.}$$

La diferencia entre el beneficio de agua buena y agua muy buena es de:

$$33,82 \text{ M€} - 19,82 \text{ M€} = 14 \text{ Millones de euros.}$$

Se obtienen 14 millones de euros más por tener las masas de agua en muy buena calidad.

Estos 14 millones de euros entre la población de Castilla y León será el resultado de la mejora del bienestar individual de los habitantes de la Demarcación Hidrológica del Duero:

$$\frac{14 \text{ M€}}{2.394.918 \text{ habitante en Cyl}} = 5,85 \text{ €/hab.}$$

7. DISCUSIÓN.

La valoración contingente no se encuentra aceptada de manera generalizada porque presenta una serie de sesgos y problemas, por lo tanto, está sometida a críticas. Entre las que se pueden destacar las siguientes:

- “Los precios de mercado son dinámicos, así como, las preferencias de los individuos no estáticas, es decir, los individuos adquieren gustos, accidental o intencionadamente, a través de nuevas experiencias” (Mainwaring, 2001).
- “Existencia de preferencias lexicográficas: algunas personas construyen sus valores de forma jerárquica, de modo que en ocasiones pueden no estar dispuestas a intercambiar mejoras o empeoramiento del bien ambiental a cambio de dinero” (Rosenberger et l., 2003).
- Según Azqueta y delacámara (2006) encuentra “válida la aplicación de la valoración contingente en recursos naturales para abastecer las necesidades de la sociedad, pero una vez que las necesidades han quedado cubiertas, los bienes ambientales pasan a considerarse una “herencia colectiva”, requiriendo como consecuencia un razonamiento colectivo de la sociedad”.

8. CONCLUSIONES.

Existen multitud de beneficios generados por la depuración de las masas de agua, entre ellos están los beneficios tangibles, como puede ser la reutilización del agua residual. Esto da lugar a una economía circular, la reducción de los contaminantes en los vertidos, reducción en el consumo del agua y aumento de la sostenibilidad del recurso. Además, los beneficios intangibles, que son el resultado de aquellos bienes y servicios otorgados por los diferentes ecosistemas, es decir, son aquellos beneficios que van a mejorar el medio que rodea a las masas de agua y los distintos ecosistemas ambientales.

Otra de las ventajas que presenta la correcta depuración de las masas de agua es el cumplimiento de la normativa europea, a la vez que se evitan posibles sanciones. Así, el coste evitado tanto para la obtención del agua buena como para el agua muy buena es de 60,43 millones de euros. Sin embargo, existe una gran diferencia entre obtener el agua buena y muy buena, ya que, en el segundo caso se obtendrá un beneficio de 33,82 millones de euros, que podrá ser empleado para la consecución de otros objetivos ambientales, y para el agua buena se obtiene un beneficio de 19,82 millones de euros.

Otro aspecto a tener en cuenta es el valor que da la población a este recurso. Como se ha podido ver el beneficio individualizado es de 5,85 €/hab lo que hace ver el escaso valor que tienen las cuestiones ambientales para la sociedad.

9. BIBLIOGRAFIA.

Anderson, J. (2003). **The environmental benefits of water recycling and reuse.** **Water Science & Technology: Water Supply** 3(4). Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/255619095_The_environmental_benefits_of_water_recycling_and_reuse (Consultado 18/05/2018).

Azqueta, O. D. (1994). **Valoración económica de la calidad ambiental.** Madrid, Editorial Mc. Graw Hill.

Azqueta, D.; Delacámara, G. (2006). «**Ethics, Economics and Environmental Management**». *Ecological Economics*, v. 56, no. 4, p. 524-533.

Bateman, J. I.; Carson, T. R.; Day, B.; Hanemann, M.; Hanley, N.; Hett, T.; Jones-Lee, M.; Loomes, G.; Mourato, S.; Özdemiroglu, E.; Pearce, W. D.; Sugden, R.; Swanson, J. (2002). **Economic Valuation with Stated Preference Techniques.** A Manual. Edward Elgar Publishing, Cheltenham.

Bateman, J. I.; Cole, A. M.; Georgiou, S.; Hadley, J. D. (2006). **Comparing contingent valuation and contingent ranking: A case study considering the benefits of urban river water quality improvements.** *Journal of Environmental Management*, 79 (3), 221-231.

Bederli A. T.; Brouwer, R. (2007). **Nonmarket valuation of water quality in a rural transition economy in Turkey applying an a posteriori bid design.** *Water Resources Research*, 43, W05436, doi:10.1029/2006WR004869.

Belluzzo, W. (2010). **Valuing water resources in developing countries: A semiparametric approach to valuation models.** *Water Resources Research*, 46, W12514, doi:10.1029/2009WR008883.

BOE (1996). Real Decreto 509/1996, de 15 de marzo, de desarrollo del Real Decreto-ley 11/1995, de 28 de diciembre, por el que se establecen las normas aplicables al tratamiento de las aguas residuales urbanas. Boletín Oficial del Estado núm. 77 de 29 de marzo de 1996.

BOE (2020). Resolución de 11 de marzo de 2020, de la Secretaría General de Coordinación Territorial, por la que se publica el Acuerdo del Consejo de Ministros de 10 de marzo de 2020, por el que se resuelve el procedimiento de determinación y repercusión de responsabilidades por incumplimiento del Derecho de la Unión Europea en el asunto C-205/17, Comisión/Reino de España, relativo a la no ejecución de la Sentencia de 14 de abril de 2011, Comisión/Reino de España, en el asunto C-343/10 en materia de recogida y tratamiento de aguas residuales. Boletín Oficial del Estado núm. 76 del 20 de marzo de 2020.

Boyle, J. K.; Desvousges, H. W.; Johnson, R. F.; Dunford, W. R.; Hudson, P. S. (1994). «**An Investigation of Part-Whole Biases in Contingent-Valuation Studies.**» *Journal of Environmental Economics and Management*, v. 27, no. 1, p. 64-83.

Carpintero, O. (1999). **Entre la Economía y la Naturaleza**. Fundación Primero de Mayo, Madrid.

Carson, T. R. (1997). «**Contingent Valuation Surveys and Tests of Insensitivity to Scope**», en R.J. Kopp, W. Pommerhene, y N. Schwartz (eds.), *Determining the Value of Non-marketed Goods: Economic, Psychological and Policy Relevant Aspects of Contingent Valuation Methods*. p. 127-163. Kluwer, Boston.

Choe, K.; Whittington, D.; Lauria, T. D. (1996). **The economic benefits of surface water quality improvements in developing countries: a case study of Davao, Philippines**. *Land Economics*, 72, 519-537.

Confederación Hidrográfica del Duero. (2013): **Plan Hidrológico de la parte española de la demarcación hidrográfica del Duero. Memoria del Plan hidrológico (2015-2021)**. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. Publicado en:

https://www.chduero.es/documents/20126/89007/PHD15-000_00_Memoria-v03_08.pdf

Confederación Hidrográfica del Duero. Características generales de la cuenca del Duero. <https://www.chduero.es/web/guest/la-cuenca-del-duero>

CONAMA 9. (2008). **Nuevas fuentes de agua. Congreso nacional del medio ambiente: Cumbre del desarrollo sostenible, Madrid.** Disponible en: http://www.conama9.conama.org/conama9/download/files/GTs/GT_AGU//AGU_final.Pdf (Consultado 30/04/2021).

Comisión Europea. (2003). **Common Implementation Strategy for Water Framework Directive (2000/60/EC) Guidance Document no. 8. Public Participation in Relation to the Water Framework Directive.** Comisión Europea, Working group 2.9 Public Participation. Luxembourg.

Comisión Europea. (2003). **Common Implementation Strategy for the Water Framework Directive (2000/60/EC).** Guidance document n. ° 8. Public Participation in relation to the Water Framework Directive. <https://circabc.europa.eu/sd/a/0fc804ff-5fe6-4874-8e0d-de3e47637a63/Guidance%20No%208%20-%20Public%20participation%20%28WG%202.9%29.pdf>

Comisión Europea. (2003). **Common Implementation Strategy For The Water Framework Directive (2000/60/EC).** Guidance Document No 1 Economics and the Environment – The Implementation Challenge of the Water Framework Directive Produced by Working Group 2.6 – WATECO [https://circabc.europa.eu/sd/a/cffd57cc-8f19-4e39-a79e-20322bf607e1/Guidance%20No%201%20-%20Economics%20-%20WATECO%20\(WG%202.6\).pdf](https://circabc.europa.eu/sd/a/cffd57cc-8f19-4e39-a79e-20322bf607e1/Guidance%20No%201%20-%20Economics%20-%20WATECO%20(WG%202.6).pdf)

Comisión Europea. (2004). **Information Sheet on Assessment of the Recovery of Costs for Water Services for the 2004 River Basin Characterisation Report (Art 9).** Common Implementation Strategy Working Group 2B: Drafting Group ECO1. https://ec.europa.eu/environment/water/water-framework/economics/pdf/Information_Sheet_ECO1_Cost_Recovery.pdf.

Comisión Europea. (2002). **The Implementation Challenge of the Water Framework Directive.** A Guidance Document. WATECO Working Group.

Dasgupta, P.; Dasgupta, R. (2004). **Economic value of safe water for the infrastructurally disadvantaged urban household: A case study in Delhi, India.** Water Resources Research, 40, W11401, doi:10.1029/2003WR002461.

Desvousges, H. W.; Smith, K. V.; Fisher, A. (1987). **Option price estimates for water quality improvements**. Journal of Environmental Economics and Management, 14 (3), 248-267.

DOCE (1991). Directiva del consejo de 21 de mayo de 1991, sobre el tratamiento de las aguas residuales urbanas. Diario Oficial de las Comunidades Europeas nº L 135/40 del 30 de mayo de 1991.

Falkenmark, M. (2003). **Freshwater as shared between society and ecosystems: from divided approaches to integrated challenges**. Philosophical Transactions of the Royal Society of London Series B-Biological Sciences, 358, 2037–2049. Falkenmark, M., Rockstrom, J., 2004. Balancing water for humans and nature. The new approach in Ecohydrology. Earthscan. London.

García López, M. (2018). **Impacto Ambiental de la depuración de aguas residuales. Análisis de la internalización de costes ambientales en Alicante y la Comunidad Valenciana**. Trabajo de Fin de Máster, Universidad de Alicante.

Green, C. (2003). **Water Economics, Principles and Practice**. Wiley, West Sussex.

Instituto Nacional de Estadística (2020). Contabilidad Regional de España. Revisión Estadística 2019. https://www.ine.es/prensa/cre_2019_2.pdf (Consultado el 21/06/2021).

Izko X.; Burneo, D. (2003). **Herramientas para la valoración y gestión forestal sostenible de los bosques sudamericanos**. Unión Mundial para la Naturaleza, Oficina Regional para Suramérica (UICN-Sur). Imprenta Mariscal. Quito, Ecuador.

Junta de Castilla y León. Datos abiertos. Depuración aguas residuales urbanas. <https://datosabiertos.jcyl.es/web/jcyl/set/es/medio-ambiente/depuracion-aguas-residuales-urbanas/1285062526955>

Krutilla, J. V. (1967). «**Conservation Reconsidered**». **The American Economic Review**, v. 57, no. 4, p. 777- 786.

Loomis, J. B. (2000). «**Environmental Valuation Techniques in Water Resources Decision Making**». Journal of Water Resources Planning and Management, p. 339-344.

Loomis, J.; Smith, A.; Huszar, P. (2005). **Estimating the economic benefits of maintaining residential lake levels at an irrigation reservoir: A contingent valuation study**. Water Resources Research, 41, W08405, doi:10.1029/2004WR003812.

Mainwaring, L. (2001). «**Environmental Values and the Frame of Reference**». Ecological Economics, v. 38, no. 3, p. 391-402.

Martín-Ortega, J. (2008). **Beneficios ambientales no de mercado asociados a la implementación de la Directiva Marco del agua: una aproximación territorial a la demarcación hidrográfica del Guadalquivir**. Tesis Doctoral, Universidad de Córdoba.

Mas, J. (2016). **Análisis coste/beneficio aplicado a los procesos de depuración y reutilización**. Trabajo de Fin de Máster. Alicante, Instituto Universitario del Agua y las Ciencias Ambientales, Universidad de Alicante. Disponible en: <https://iuaca.ua.es/es/master-agua/documentos/gestadm/trabajos-fin-demaster/tfm10/tfm10-guillermo-mas-ortega.pdf> (Consultado 30/4/2021).

Melgarejo, J. (2009). **Efectos ambientales y económicos de la reutilización del agua en España**. CLM Economía, (15), 245-270. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10045/33318> (Consultado 30/04/2021).

Pearce, D.W.; Turner, K. R. (1990). **Economics of the Natural Resources and the Environment**. Londres, Harvester Wheatsheaf.

Pearce, David W.; Morán, D. (1994). **“The Economic Value of Diversity”**. UICN. Londres.

Pigou, A. (1920). **The Economics of Welfare**. Macmillan, London.

Porée, L. (2019). **Evolución de las zonas de los ríos Trabancos, Zapardiel, Adaja y Guareña (Cuenca del Duero) entre 1956 y la actualidad**. Trabajo de Fin de Máster. Cartagena, Universidad Politécnica de Cartagena. Disponible en

Prats, D. (2016). **La reutilización de aguas depuradas regeneradas a escala mundial: análisis y prospectivas**. Agua y territorio, (8), 10-21. Disponible en: <https://revistaselectronicas.ujaen.es/index.php/atma/issue/view/issue/265/70> (Consultado 30/04/2021).

Raffo Lecca, E. (2016). **Valoración económica ambiental: el problema del costo social**. 18 (1): 108-118.

Romero, C. (1994). **Economía de los recursos ambientales y naturales**. Alianza Economía, Madrid.

Rosenberger, S. R.; Peterson, L. G.; Clarke, A.; Brown, C. T. (2003). **«Measuring Dispositions for Lexicographic Preferences of Environmental Goods: Integrating Economics, Psychology and Ethics»**. Ecological Economics, v. 44, no. 1, p. 63-76.

Schaafsma, M.; Brouwer, R. (2006). **Overview of Existing Guidelines and Manuals for the Economic Valuation of Environmental Costs and Benefits**. AquaMoney Project Working Document.

Soliño, M. et al. (2013). **Improving Water Quality in England and Wales: Local Endowments and Willingness to Pay**. Int. J. Environ. Res., 7(3):623-632.

Smith, K. V.; Osborne, L. L. (1996). **«Do Contingent Valuation Estimates Pass a ‘Scope’ Test? A Metaanalysis»**. Journal of Environmental Economics and Management, v. 31, no. 3, p. 287-301.

Soto Montes de Oca, G.; Bateman, J. I. (2006). **Scope sensitivity in households’ willingness to pay for maintained and improved water supplies in a developing world urban area: Investigating the influence of baseline supply quality and income distribution upon stated preferences in Mexico City**. Water Resources Research, 42, W07421, doi:10.1029/2005WR003981.

Spencer, A. M.; Swallow, K. S.; Miller, J. C. (1998). **Valuing Water Quality Monitoring: A Contingent Valuation Experiment Involving Hypothetical And Real Payments**. Agricultural and Resource Economics Review, 27 (1), 28-42.

Stapleton, M. C.; Kay, D.; Jackson, F. G.; Wyer, D. M. (2000). **Estimated inorganic nutrient inputs to the coastal waters of Jersey from catchment and waste water sources.** Wat. Res. 34, 3, 787-796.

Unión Europea. (2000). Directiva 2000/60/CE por la que se establece el Marco Comunitario de Actuación en Política de Agua.

Willaarts, A. B.; Volk, M.; Aguilera, A. P. (2012) **Assessing the ecosystem services supplied by freshwater flows in Mediterranean agroecosystems.** Agr Water Manage 105 (0):21-31.