

Valoración socio-ambiental y económico-financiera del Plan de
Saneamiento del Gobierno de Aragón
y alternativas para su revisión en el área pirenaica



NEUS VINYET MIRET
EVA MUÑOZ BUISÁN
JAVIER LÓPEZ VICENTE

PEDRO ARROJO AGUDO
(Tutor del proyecto)
Diciembre 2013



**Máster en Gestión Fluvial Sostenible
y Gestión Integrada de Aguas**



“El presente trabajo es un ejercicio práctico de Máster presentado para optar al certificado de aptitud por los autores, realizado en parte como supuesto real y en parte con contenidos académicos. Su contenido, calidad y adecuación a la realidad son de la exclusiva responsabilidad de sus autores, así como los cálculos, aseveraciones, conclusiones y recomendaciones. Éstas no tienen porqué coincidir con las de los tutores-directores del trabajo, ni del Máster, ni de sus organismos patrocinadores. La existencia de este trabajo no supone su aprobación ni la aceptación de su contenido.”

RESUMEN

El colapso financiero del Plan de Saneamiento de Aragón, concebido por el ejecutivo aragonés como un modelo de participación público – privado bajo la tipología de concesión de obra pública no ha alcanzado los resultados esperados. La insostenibilidad económica del Plan con los correspondientes problemas de financiación de las empresas adjudicatarias hace necesario rediseñar el Plan Integral de Depuración de los Pirineos. El nuevo diseño debería tener en cuenta las peculiaridades de la zona, así como las capacidades y las necesidades de cada población, identificando tecnologías adecuadas y dimensionando las instalaciones de forma que no haya que afrontar los elevados costes de ejecución y de mantenimiento que se derivaban de las EDAR proyectadas en el citado Plan por el Instituto Aragonés del Agua.

El haber inducido, cuando no forzado, la cesión de la competencia de depuración al Gobierno de Aragón (Instituto Aragonés del Agua), de la forma como se ha venido haciendo, supone la pérdida efectiva del control de este servicio por los ayuntamientos, con la consiguiente degradación del principio de autonomía municipal.

El hecho de que esta cesión de competencia derive en un proceso de privatización, transformando este servicio público en un negocio, implica consecuencias éticas, políticas, ambientales y sociales que es preciso analizar.

ÍNDICE GENERAL

1. <u>INTRODUCCIÓN</u>	12
1.1. CONTEXTUALIZACIÓN	12
1.2. MARCO NORMATIVO	14
2. <u>DIAGNÓSTICO</u>	16
2.1. DIAGNÓSTICO JURÍDICO –SOCIAL	16
2.1.1. El Plan Nacional de Calidad de las Aguas	16
2.1.2. Ley 6/2001 de Ordenación y Participación de la gestión del Agua en Aragón	18
2.1.3. Plan Aragonés de Saneamiento y Depuración (2001) y sus planes de desarrollo	19
2.1.4. Revisión del Plan Aragonés de Saneamiento y Depuración (2009)	21
2.1.5. Convenios entre el Ministerio de Medio Ambiente, Medio Rural y Marino y la Comunidad Autónoma de Aragón	22
2.1.6. Convenios entre los Ayuntamientos y el Instituto Aragonés del Agua para la delegación de competencias de saneamiento: posible lesión de la autonomía municipal	25
2.1.7. Fórmula escogida de licitación de los contratos: colaboración público privada versus gestión directa	28
2.1.8. Claves del colapso del Plan y su redefinición por el Gobierno de Aragón	31
2.1.9. La discutible figura del canon frente a la tasa municipal	34
2.1.10. Rechazo social. Aparición de movimientos ciudadanos	39
2.1.11. Horizonte 2015 y contradicción con la legislación europea	41
2.2. DIAGNÓSTICO ECONÓMICO	42
2.2.1. Análisis crítico de la viabilidad de las EDAR convencionales proyectadas en el Pirineo	42
2.2.1.1. Introducción	42
2.2.1.2. Análisis económico de los EVDP	43
2.2.1.3. Plan económico-financiero y proyecciones de los EVDP	48
2.2.1.4. Análisis financiero de los EVDP	50
2.2.1.5. Las alegaciones a los EVDP	58

2.2.2.	Claves económico-financieras de la depuración pirenaica y aragonesa.....	61
2.2.2.1.	Introducción.....	61
2.2.2.2.	Claves financieras: Tarifas, canon y el modelo financiero (PFI)...	61
2.2.2.3.	Claves económicas: Dimensionamiento y eficiencia.....	63
2.2.2.4.	El colapso financiero.....	66
2.3.	DIAGNÓSTICO AMBIENTAL.....	68
2.3.1.	Antecedentes de depuración en núcleos rurales en el pirineo.....	68
2.3.2.	Situación actual y proyectos de depuración planteados por el Instituto Aragonés del Agua.....	73
2.3.3.	Aguas residuales.....	78
2.3.4.	Importancia de depurar las aguas residuales.....	80
2.3.5.	Legislación ambiental: requisitos a cumplir en la depuración de aguas residuales.....	81
3.	<u>PROPUESTA DE ALTERNATIVAS</u>	84
3.1.	ANÁLISIS DE OPCIONES TÉCNICAS.....	84
3.1.1.	Técnicas de depuración disponibles.....	84
3.1.1.1.	Depuración convencional.....	87
3.1.1.2.	Depuración basada en sistemas ecológicos.....	89
3.1.1.3.	Otras técnicas de saneamiento.....	98
3.1.2.	Comparativa de los distintos métodos de saneamiento.....	100
3.1.3.	Criterios para la elección de la técnica de depuración apropiada.....	102
3.1.4.	Estudio de casos prácticos de depuración basada en sistemas ecológicos en pequeñas y medianas poblaciones.....	108
3.2.	DISEÑO DE CRITERIOS PARA UN NUEVO PLAN DE SANEAMIENTO PARA EL PIRINEO.....	114
3.2.1.	Directrices del nuevo Plan.....	114
3.2.1.1.	Adecuarlo y dimensionarlo a la realidad poblacional y territorial...	114
3.2.1.2.	Especificidad de valores ambientales.....	116
3.2.1.3.	Valoración de los intangibles ambientales en juego.....	117
3.2.1.4.	Capacidades y limitaciones para implantar y gestionar el servicio....	118
3.2.1.5.	Elección de técnicas apropiadas para el pirineo.....	119
3.2.2.	Valoración económica.....	124

3.2.2.1.	Características económicas de la depuración ecológica y comparación con las tecnologías convencionales.....	124
3.2.2.2.	Herramientas para la toma de decisiones.....	131
3.2.3.	Criterios desde una valoración socio-política del conflicto.....	136
3.2.3.1.	Gestión participativa, integrada y pública.....	136
3.2.3.2.	Hacia una nueva cultura de regulación pública.....	138
3.2.3.3.	La defensa de la autonomía municipal.....	140
3.2.3.4.	Hacia una remunicipalización del servicio público de saneamiento y depuración.....	142
3.2.4.	Replicabilidad-transferibilidad de los proyectos.....	144
3.2.5.	Retos ambientales para mejorar la depuración en el pirineo.....	145
3.2.6.	Riesgos y retos respecto al objetivo de conseguir el Buen Estado Ecológico de los ríos.....	145
3.2.7.	Retos y valores sociales en juego.....	147
3.2.7.1.	El buen estado ecosistémico: políticas territoriales integradas y valor ético en la gestión del agua.....	147
4.	<u>CONCLUSIONES</u>	152
5.	<u>BIBLIOGRAFÍA</u>	154
	<u>ANEXOS</u>	159

ÍNDICE FIGURAS

Figura 1. Comarcas del pirineo aragonés.	12
Figura 2. Descenso de Navatas por el río Cinca.	14
Figura 3. Sistemas de tratamiento a aplicar en función de los habitantes equivalentes. Fuente: BOA num. 124 de 22 de Octubre de 2001.	20
Figura 4. Proyecto para depurar los núcleos de Escarrilla, Panticosa y El Pueyo y Sandiniés y Tramacastilla. Fuente: elaboración propia.	31
Fuente 5. Proyecto para depurar los núcleos de Aínsa y Boltaña. Fuente: elaboración propia.	32
Figura 6. Estructura de un PFI con la Administración. Fuente: Esteban Utrillas, V. (CCOO, 2008b).	52
Figura 7. Estructura de un PFI para la construcción de una depuradora (1/3). Fuente: Esteban Utrillas, V. (CCOO, 2008b).	52
Figura 8. Estructura de un PFI para la construcción de una depuradora (2/3). Fuente: Esteban Utrillas, V. (CCOO, 2008b).	53
Figura 9. Estructura de un PFI para construir una EDAR (3/3). Fuente: Esteban Utrillas, V. (CCOO, 2008b).	53
Figura 10. Ejemplo de apalancamiento operativo en la construcción una EDAR. Fuente: Esteban Utrillas, V. (CCOO, 2008b).	54
Figura 11. Ejemplo de apalancamiento financiero de una EDAR. Fuente: Esteban Utrillas, V. (CCOO, 2008b).	56
Figura 12. EDAR del Pirineo en funcionamiento o en fase de construcción. Fuente: Elaboración propia a partir de datos del IAA.	65
Figura 13. Estaciones depuradoras de aguas residuales urbanas en funcionamiento en el pirineo aragonés. Fuente: Datos del Instituto Aragonés de Estadística 2013, (La Calle Marcos, 2013).	74
Figura 14. Esquema de técnicas de pretratamiento. Fuente: elaboración propia.	85
Figura 15. Esquema de técnicas de tratamiento primario. Fuente: elaboración propia.	87
Figura 16. Esquema de técnicas de tratamiento secundario basadas en sistemas de depuración convencional. Fuente: elaboración propia.	89
Figura 17. Esquema de las características básicas de la depuración basada en sistemas ecológicos. Fuente: elaboración propia.	90
Figura 18. Esquema de sistemas de depuración basados en infiltración en el terreno. Fuente: elaboración propia.	91
Figura 19. Esquema de sistemas de depuración basados en fitosistemas. Fuente:	95

elaboración propia.

Figura 20. Esquema de sistemas de depuración basados en humedales artificiales de plantas emergentes. Fuente: elaboración propia.	97
Figura 21. Esquema de sistemas de depuración basados en humedales artificiales de plantas en flujo libre (flotantes y emergentes). Fuente: elaboración propia.	97
Figura 22. Esquema de otras técnicas de saneamiento. Fuente: elaboración propia.	99
Figura 23. Esquema general de la depuradora de Fabara. Fuente: Ayuntamiento de Fabara.	110
Figura 24. Esquema de las terrazas la depuradora de Fabara. Fuente: Ayuntamiento de Fabara.	110
Figura 25. Esquema de caracterización del pirineo aragonés y especificidad de valores ambientales. Fuente: elaboración propia.	117
Figura 26. Esquema de elección de técnicas de depuración apropiadas al pirineo aragonés. Fuente: elaboración propia.	121
Figura 27. Esquema de técnicas de depuración recomendadas para el pirineo aragonés. Fuente: elaboración propia.	124
Figura 28. Influencia de las economías de escala en pequeñas y grandes poblaciones según si se emplea tecnología de depuración convencional o ecológica. Fuente: elaboración propia	131
Figura 29. Comparativa de costes de una planta de depuración biológica frente a una de depuración convencional en la población de Fabara, Fuente: Ayuntamiento de Fabara.	133

ÍNDICE TABLAS

Tabla 1. Caracterización de las cuatro comarcas del pirineo aragonés. Fuente: Elaboración propia a partir de datos del Instituto Aragonés de Estadística (2012).	13
Tabla 2. Estructura productiva de las cuatro comarcas del pirineo aragonés. Fuente: Elaboración propia a partir de datos del Instituto Aragonés de Estadística (2012).	13
Tabla 3. Cronograma para alcanzar los objetivos previstos en el convenio de 2008 entre el Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino y la Comunidad Autónoma de Aragón. Elaboración propia. Datos Convenio MARM- Gobierno Aragón (BOE Núm. 260, 28/10/2008).	23
Tabla 4. Cronograma para alcanzar los objetivos previstos en el convenio de 2011 entre el Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino y la Comunidad Autónoma de Aragón. Elaboración propia. Datos Acuerdo modificación y prórroga Convenio MARM- Gobierno Aragón. Anexo III (BOE Núm. 53 de 3 marzo 2011).	24
Tabla 5. Esquema de asignación de riesgos de los proyectos. Fuente: Sodemasa, Gobierno de Aragón (2008).	44
Tabla 6. Costes estimados de inversión para las zonas P1 (La Jacetania), P2 (Alto Gállego), P3 (Sobrarbe) y P4 (Ribagorza). Fuente: elaboración propia a partir de (Sodemasa, Gobierno de Aragón, 2008).	45
Tabla 7. Costes estimados de explotación para las zonas P1 (La Jacetania), P2 (Alto Gállego), P3 (Sobrarbe) y P4 (Ribagorza). Fuente: elaboración propia a partir de (Sodemasa, Gobierno de Aragón, 2008).	46
Tabla 8. Plan de financiación previsto para las zonas P1 (La Jacetania), P2 (Alto Gállego), P3 (Sobrarbe) y P4 (Ribagorza). Fuente: elaboración propia a partir de (Sodemasa, Gobierno de Aragón, 2008).	47
Tabla 9. Estructura tarifaria para las zonas P1 (La Jacetania), P2 (Alto Gállego), P3 (Sobrarbe) y P4 (Ribagorza). Fuente: elaboración propia a partir de (Sodemasa, Gobierno de Aragón, 2008).	47
Tabla 10. Resultados del análisis financiero. Elaboración propia a partir de (Esteban Utrillas, V.; CCOO, 2008c).	57
Tabla 11. Ejemplo de encarecimiento de tarifa. Fuente: Esteban Utrillas, V. (CCOO, 2008a).	59
Tabla 12. Datos X: tratamientos recomendados por el PASD, datos Y: recomendados por la RPASD 2009. Fuente: Estudio de viabilidad del Plan de Depuración Integral del Pirineo Aragonés (Sodemasa, Gobierno de Aragón); Decreto 107/2009, por el que se aprueba la Revisión del Plan Aragonés de Saneamiento y Depuración. BOA Núm. 125, 01/07/2009.	69
Tabla 13. Tipologías de tratamientos de depuración. Fuente: Estudio de viabilidad del Plan de Depuración Integral del Pirineo Aragonés (Sodemasa, Gobierno de Aragón).	70
Tabla 14. Datos estadísticos de las depuradoras proyectadas en el área pirenaica (datos obtenidos en febrero de 2005). Fuente: Decreto 107/2009, por el que se aprueba la Revisión del Plan Aragonés de Saneamiento y Depuración. BOA Núm. 125, 01/07/2009.	71

Tabla 15. Listado de EDAR incluidas en la concesión del IAA, posterior a la aprobación del RPASD. Fuente: La Calle Marcos, (2013).	73
Tabla 16. Estaciones depuradoras del pirineo aragonés. Fuente: sitio oficial de internet del Instituto Aragonés del Agua.	75
Tabla 17. Depuradoras puestas en servicio en el Pirineo Aragonés en el año 2012. Fuente: IAA, en respuesta a la información solicitada por Mariano Mérida en representación de la Red Pública de Agua de Aragón a fecha 14 de marzo de 2013.	76
Tabla 18. Listado de entidades que tienen una carga superior a 2000 h-e de diseño y no cuentan con tratamiento de sus aguas residuales, en el año 2011. Fuente: La Calle Marcos, (2013).	76
Tabla 19. Valores típicos de los principales contaminantes de las aguas residuales. Fuente: Alianza por el Agua, (2008).	79
Tabla 20. Dotaciones de abastecimiento según número de habitantes de la población. Fuente: Alianza por el Agua, (2008).	79
Tabla 21. Requisitos a cumplir por los efluentes de estaciones de tratamiento secundarias fijados por la Directiva 91/271 sobre tratamiento de aguas residuales urbanas. Fuente: RASD 2009. BOA 125.	82
Tabla 22. Requisitos a cumplir por los efluentes de estaciones de tratamiento terciarias fijados por la Directiva 91/271 sobre tratamiento de aguas residuales urbanas. Fuente: RASD 2009. BOA 125.	82
Tabla 23. Tratamiento en función del tamaño de la población fijado por la Directiva 91/271 sobre tratamiento de las aguas residuales urbanas. Fuente: RASD 2009. BOA 125.	83
Tabla 24. Comparativa entre los sistemas de depuración basada en sistemas ecológicos con los sistemas convencionales Fuente: elaboración propia.	100
Tabla 25. Sistemas de depuración y nomenclatura asociada. Fuente: (Huertas, y otros, 2013).	102
Tabla 26. Rangos de población en los que se recomienda usar cada opción de tratamiento. Fuente: Huertas, y otros, (2013).	102
Tabla 27. Niveles de tratamiento alcanzado según la tecnología implantada. Fuente: Ortega de Miguel, y otros, (2010).	103
Tabla. 28. Clasificación de las tecnologías en función de la superficie requerida para su implantación (m ² /h-e), tomando como referencia la superficie requerida por h-e obtenida para una población de 1000 h-e. Fuente: Ortega de Miguel, y otros, (2010).	103
Tabla. 29. Clasificación de las tecnologías en función del consumo energético asociado a las mismas. Fuente: Enrique Ortega: “Jornada sobre depuración en pequeñas poblaciones en Aragón”, Huesca, (2013).	104
Tabla 30. Categorización de tecnologías en función de los costes de implantación. Fuente: Ortega de Miguel, y otros,(2010).	106
Tabla 31. Costes de implantación estimados para cada tecnología. Fuente: Ortega de	106

Miguel, y otros, (2010).

Tabla 32. Categorización de tecnologías en función de los costes de explotación. Fuente: 106
Ortega de Miguel, y otros, (2010).

Tabla 33. Costes de explotación y mantenimiento estimados para cada tecnología. Fuente: 107
Ortega de Miguel, y otros, (2010).

Tabla 34. Clasificación de los sistemas de depuración de aguas residuales según los grados 107
de tolerancia de cada uno frente a distintos criterios. Fuente: Huertas, y otros, (2013).

Tabla 35. Valores de los parámetros químicos de la EDAR experimental de FMF de 109
Barajas, en diferentes días del año 2001 y reducción media de los parámetros en los 3 años
de experimentación. Fuente: elaboración propia con datos de Fernández González, (2005).

Tabla 36. Valores de los parámetros del efluente de la depuradora de Fabara. Fuente: 111
elaboración propia.

Tabla 37. Valores de los parámetros del efluente del humedad construido con sistema FMF 112
en el núcleo de Coy (Lorca, Murcia). Mediciones realizadas al final del proyecto, el 18-09-
2005. Unidades mg/l. Fuente: Jesús Fernández González.

Tabla 38. Valores de los parámetros del efluente de cuatro de los proyectos de depuración 113
natural desarrollados por el ITC y sus principales características. Fuente: elaboración
propia con datos del Departamento de Agua, Instituto Tecnológico de Canarias, (2010).

Tabla 39. Tipos de tratamiento de aguas residuales y su correspondiente acrónimo. Fuente 127
Ortega de Miguel, y otros, (2010).

Tabla 40. Costes de explotación en función de la tecnología de depuración empleada y el 128
rango poblacional. Fuente: Ortega de Miguel, y otros, (2010).

Tabla 41. Costes de explotación para una población de 1000 h-e en función de la tecnología 128
de depuración empleada. Fuente: Ortega de Miguel, y otros, (2010).

Tabla 42. Costes de implantación en función de la tecnología de depuración empleada y el 128
rango poblacional. Fuente: Ortega de Miguel, y otros, (2010).

Tabla 43. Costes de implantación para una población de 1000 h-e en función de la 129
tecnología de depuración empleada. Fuente: Ortega de Miguel, y otros, (2010).

Tabla 44. Comparativa de costes entre 3 núcleos de población del Pirineo Fuente: 129
elaboración propia a partir de datos del IAA.

Tabla 45. Comparativa de costes de una planta de depuración biológica frente a una de 134
depuración convencional en la población de Fabara según datos técnicos y según datos
económicos. Fuente: elaboración propia.

Tabla 46. Evaluación de la importancia relativa y tendencia de los 22 servicios 148
suministrados por los ecosistemas ríos y riberas españoles. Fuente: Fundación
Biodiversidad, (2011).

1. INTRODUCCIÓN

1.1. CONTEXTUALIZACIÓN

El estudio analiza el Plan de Depuración previsto para las cuatro comarcas pirenaicas aragonesas: Jacetania, Alto Gállego, Sobrarbe y Ribagorza. Esta zona, conocida como el Alto Aragón, limita al sur con el Ebro y al norte con la frontera francesa alternándose de oeste a este las cuatro comarcas. La Jacetania o Viejo Aragón asentada sobre los límites del que fuera el viejo condado de Aragón, considerada la cuna del reino de Aragón con su capital, Jaca, y su monasterio aragonés por excelencia, San Juan de la Peña (inicio de la vía principal del camino de Santiago). El Alto Gállego, comarca que abarca los asentamientos localizados en la cuenca del río Gállego, desde su nacimiento en las proximidades de Sallent hasta Anzánigo en la que quedan incluidos el Valle de Tena, la Tierra de Biescas y el Serrablo. El Sobrarbe, comarca donde nace el río Cinca y sus afluentes, Ara y Cinqueta. La leyenda y la tradición se entremezclan al buscar sus orígenes, presente además en uno de los cuarteles del escudo de Aragón, donde se representa la cruz sobre la carrasca. La Ribagorza, comarca de gran extensión, con recorridos agradables, alternando paisajes de gran belleza con pequeños pueblos cargados de arte, historia y tradición. Conformada por los ríos Ésera, Isábena y Noguera Ribagorzana, cuenta con el pico más alto de Aragón, el Aneto.



Figura 1. Comarcas del pirineo aragonés.

De extraordinaria riqueza ecosistémica, la zona de estudio, el Pirineo axial, ha sido durante largos tiempos lugar inhóspito para pasar actualmente a ser uno de los reclamos turísticos más importantes del interior de España. De oeste a este las cumbres van ganando progresivamente en altitud para culminar en el pico Aneto. A lo largo de la misma se hallan orientados generalmente al norte diversos glaciares, en la actualidad en retroceso. Como testigo de otros tiempos quedan lagos al fondo de los circos y los

típicos valles en artesa. Desde las sierras interiores se alzan las cumbres de Collarada, Telera, Tendeñera, Cotiella y Turbón y cabalgando entre estos macizos el incomparable Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido.

Los ríos, que atraviesan transversalmente las sierras a través de profundas montañas, delimitan, individualizan y dan nombre a cada uno de los valles (valle del Ara, del Cinca, del Aragón...) y con ellos las singularidades socio-económicas y demográficas que definen cada una de las cuatro comarcas. La zona de estudio se caracteriza por una distribución desequilibrada de su población, y sobre todo por su escaso número. Se trata de un variado y amplio territorio, con poca población y desigualmente repartida (generalmente en torno a las cabeceras comarcales). Así, tal y como demuestra la tabla adjunta (tabla 1), las cuatro comarcas albergan un total de 81 municipios conformados por 497 núcleos de población dispersos, distribuidos a lo largo de 7.880,20 kilómetros cuadrados y con una población de 54.172 habitantes. Paradigmático resulta el ejemplo del municipio de Sabiñánigo, en la comarca del Alto Gállego, que cuenta con 55 núcleos en el interior de su término municipal convirtiéndose en el más extenso de Aragón y uno de los amplios de España.

Tabla 1. Caracterización de las cuatro comarcas del pirineo aragonés. Fuente: Elaboración propia a partir de datos del Instituto Aragonés de Estadística (2012).

Comarca	Número de Municipios	Núcleos población	Padrón (01/01/2012)	Superficie (km2)	Densidad
Jacetania	20	80	18.537	1857,9	10
Alto Gállego	8	92	14.641	1359,8	10,8
Sobrarbe	19	150	7.812	2202,7	3,5
Ribagorza	34	175	13.182	2459,8	5,4

A excepción de pequeñas incursiones industriales, como el caso de las industrias químicas de Sabiñánigo, el peso productivo de la actividad económica pivota sobre el sector servicios que ha ido creciendo las últimas décadas en detrimento del sector primario que, pese a conservarse, ha sufrido un claro retroceso. La estructura productiva del año 2007¹ mostraba los siguientes porcentajes:

Tabla 2. Estructura productiva de las cuatro comarcas del pirineo aragonés. Fuente: Elaboración propia a partir de datos del Instituto Aragonés de Estadística (2012).

Comarca	Servicios (%)	Agricultura (%)
Jacetania	73,7 %	3,4 %
Alto Gállego	61,3 %	0,9 %
Ribagorza	55,6 %	11,2 %
Sobrarbe	63,6 %	6,0 %

Así como todas las grandes civilizaciones han crecido junto a los ríos, para las gentes del Pirineo sus ríos y “*el agua es parte de las esencias del paisaje y de la identidad de los montañeses*” (Beltrán 2004). Los cuatro grandes ríos que bañan estas comarcas (Aragón, Gállego, Cinca y Noguera Ribagorzana) vienen a aportar una tercera parte de los caudales totales del Ebro. Desde antaño sus aprovechamientos han sido muy variados: desde molinos harineros, batanes, sierras, norias, hasta su uso como vía de transporte fluvial que utilizaban los *nabateros* o *almadieros* para conducir grandes

¹ Instituto Aragonés de Estadística. Información estadística territorial. Actualización 08-02-2012

maderadas de troncos o *dobleros* a tierras mediterráneas. Esos usos, vinculados a la población y a su supervivencia, cambiaron a finales del s. XX para, desde una visión más productivista, proyectar una serie de aprovechamientos hidroeléctricos a lo largo de la cordillera pirenaica con la construcción de embalses y centrales hidroeléctricas provocando el éxodo obligado a centenares de habitantes. Si esa época se caracterizó por una explotación de los recursos naturales, no siempre de forma racional ni respetuosa, paralelamente llegaron las industrias que arrojaban a los ríos sus desechos, compañías constructoras que arrancaban gravas de los lechos y una tendencia a utilizar el río como canal de desagüe.



Figura 2. Descenso de Navatas por el río Cinca.

En un contexto más reciente y a través de la promulgación de leyes destinadas a la conservación del medio ambiente, la Unión Europea aprobó en el año 2000 la Directiva Marco del Agua con el objetivo de establecer un marco para la protección de las aguas superficiales continentales, las aguas de transición, las aguas costeras y las aguas subterráneas, estableciendo un plazo de exigencia para ciertos niveles de calidad que se sitúa en el año 2015.

1.2. MARCO NORMATIVO

En España existe un cuerpo de Derecho de Aguas muy antiguo, la primera Ley de Aguas data de 1879. Desde entonces el legislador ha aprobado diferentes normas en materia de vertidos y depuración que a continuación reseñamos someramente:

- a) Texto Refundido de la Ley de Aguas de 2001² en el que se tratan cuestiones relativas a vertidos, autorizaciones y objetivos a alcanzar en el medio receptor.
- b) Real Decreto 849/1986, de 11 de abril que aprueba el Reglamento del Dominio Público Hidráulico donde se dedican varios artículos (del 245 al 271) a los vertidos.
- c) Directiva 91/271/CEE de 21 de mayo de 1991 sobre tratamiento de aguas residuales urbanas cuyo objetivo es el de proteger al medio ambiente de los efectos negativos de los vertidos de las aguas residuales urbanas y de los procedentes de determinados sectores industriales. Para ello establece unos requerimientos mínimos para su recogida y tratamiento, en función del tamaño de la aglomeración y de las características de la zona de vertido.
- d) Esta Directiva fue transpuesta al ordenamiento jurídico español mediante el Real Decreto Ley 11/1995 por el que se establecen las normas aplicables al tratamiento de las aguas residuales urbanas y el Real Decreto 509/1996 de 15

² Aprobado por Real Decreto Legislativo 1/2001 de 20 de julio (BOE núm. 176 de 24 julio de 2001).

de marzo, de desarrollo del anterior y que completa la incorporación de la norma modificada posteriormente por el Real Decreto 2116/1998 de 2 de octubre en relación con determinados requisitos establecidos en su anexo I (referido a los requisitos para los vertidos procedentes del tratamiento de aguas residuales urbanas en zonas sensibles y menos sensibles y los criterios para la determinación de las mismas).

- e) Real Decreto –Ley 3/1993 de 26 de febrero, por el que se efectúa la declaración de interés general de la depuración de los ríos pirenaicos de alto nivel turístico paisajístico.
- f) Directiva 200/60/CE de 23 de octubre, por la que se establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas (Directiva Marco del Agua- DMA), que establece numerosas tareas y actividades, siendo su principal eje de implantación la realización de Planes de Cuenca. Estos planes deben identificar las masas de agua donde no se alcanzan los objetivos, o se encuentran en riesgo, determinar las presiones generadoras de estos impactos y establecer las medidas adecuadas para la consecución de los objetivos propuestos en el año 2015. Esta Directiva ha sido transpuesta al ordenamiento jurídico español por la siguiente legislación:
 - a. Real Decreto Legislativo 1/2001 de 20 de julio por el que se aprueba el Texto Refundido de la Ley de Aguas.
 - b. Real Decreto 606/2003 de 23 de mayo por el que se modifica el Reglamento del Dominio Público Hidráulico.
 - c. Real Decreto 907/2007 de 6 de julio por el que se aprueba el Reglamento de la Planificación Hidrológica.
 - d. Orden ARM/2656/2008 de 10 de septiembre por la que se aprueba la Instrucción de Planificación Hidrológica.
- g) En referencia a la zona de estudio (cuenca del río Ebro) mencionar que en la actualidad está en proceso de aprobación el nuevo Plan Hidrológico de la cuenca del Ebro que corresponde al periodo 2010-2015. La propuesta de proyecto de este plan fue informado favorablemente por el Consejo del Agua de la Demarcación Hidrográfica del Ebro el 4 de julio de 2013 y recibió la conformidad del Comité de Autoridades Competentes de la cuenca el 5 de julio de 2013. La propuesta fue remitida por la Confederación Hidrográfica del Ebro al Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente el 8 de julio de 2013 y recoge en el apartado de saneamiento y depuración que el Estado y las comunidades autónomas, para dar cumplimiento a la Directiva 91/271/CEE están abordando el “Plan Nacional de Calidad de las Aguas 2007-2015” que contempla actuaciones de saneamiento y depuración de un buen número de aglomeraciones urbanas mayores de 2.000 h-e que no disponen de EDAR, así como las actuaciones motivadas por la nueva declaración de zonas sensibles y los núcleos menores de 2.000 h-e.
- h) Ley 6/2001 de Ordenación y Participación en la Gestión del Agua en Aragón.
- i) Decreto 266/2001 de 6 de noviembre del Gobierno de Aragón por el que se aprueba el Reglamento regulador del canon de saneamiento de la Comunidad Autónoma de Aragón.
- j) Orden 30 julio 2002 del Departamento de Medio Ambiente sobre entidades colaboradoras en materia de calidad de las aguas.

2. DIAGNÓSTICO

2.1. DIAGNÓSTICO JURÍDICO-SOCIAL

2.1.1. **El Plan Nacional de Calidad de las Aguas: Saneamiento y Depuración 2007-2015³**

De acuerdo con la Directiva 91/271/CEE los estados miembros debían habilitar las disposiciones legislativas, reglamentarias y administrativas necesarias para dar cumplimiento a esta Directiva, a más tardar, el 30 de junio de 1993. Para cumplir este calendario la entonces Secretaría de Estado de Medio Ambiente y Vivienda aprobó el Plan Nacional de Saneamiento y Depuración de Aguas Residuales 1995-2005 (antecedente del actual plan 2007-2015). Esa misma Directiva perseguía reducir los niveles de contaminación de las aguas superficiales que provenían de las aguas residuales urbanas y marcaba unos escenarios temporales que, de manera paulatina, debían alcanzar el 31/12/2005 todas las aglomeraciones mayores de 2.000 habitantes equivalentes (h-e) en aguas continentales y estuarios, mayores de 10.000 h-e en aguas costeras que viertan a zonas consideradas normales (a través de tratamiento secundario o proceso equivalente), y aglomeraciones mayores de 10.000 h-e que vertieran a zonas consideradas sensibles (mediante un tratamiento más riguroso).

Como se ha señalado en el apartado anterior, la transposición al ordenamiento jurídico español de esta Directiva se hizo mediante el Real Decreto Ley 11/1995 y el Real Decreto 509/1996, que establecían, principalmente, que las Comunidades Autónomas fijarían, previa audiencia de los Ayuntamientos afectados, las Aglomeraciones Urbanas en que se estructuraría su territorio. También señalaban los plazos y condicionantes que debían cumplir las aglomeraciones urbanas en cuanto a tipo de tratamiento (adecuado, secundario, más riguroso) y establecían la obligación de que las Comunidades Autónomas, en el ámbito de sus competencias, elaboraran un plan o programa. Además, se establecía la obligación de declarar “zonas sensibles” -revisando la misma cada cuatro años-, para cumplir así con las especificaciones de calidad en un plazo de siete años desde la respectiva declaración.

En 1995 se redactó el Primer Plan Nacional de Saneamiento y Depuración, con horizonte 2005, y se empezaron a firmar los Convenios Bilaterales de aplicación del mismo entre la Administración General de Estado y todas las Comunidades Autónomas apostando por una vía de cooperación y coordinación entre administraciones. Aquel Plan contemplaba inversiones por un valor de 1,9 billones de pesetas (11,4 millones de Euros), previéndose como aportación de la Administración General del Estado para cada Comunidad Autónoma un 25% de toda la inversión que fuese preciso en la misma en actuaciones que se declaraban de interés general. Dejando por lo tanto el 75% restante a las Comunidades Autónomas bajo la responsabilidad de acometer las inversiones antes del 31 de diciembre de 2005.

Las actuaciones llevadas a cabo en el marco de este Plan estuvieron centradas, principalmente, en el tratamiento de las aguas generadas en medianas y grandes

³Plan Nacional de Calidad de las Aguas: Saneamiento y Depuración 2015. En: http://www.magrama.gob.es/es/agua/planes-y-estrategias/PlanNacionalCalidadAguas_tcm7-29339.pdf

aglomeraciones urbanas, especialmente aquellas de más de 5.000 habitantes equivalentes, consideradas las más contaminantes. Las actuaciones sobre las poblaciones de menos de 2.000 habitantes equivalentes por el contrario quedaron a voluntad de las políticas realizadas por cada Comunidad Autónoma, existiendo un grado de avance muy heterogéneo según la región y convirtiéndose en el principal reto del Plan aprobado para el siguiente periodo.

La llegada de la fecha de cumplimiento de los plazos temporales de la Directiva 91/271/CEE (1 enero 2006) y el final del periodo de aplicación de aquel Plan (1995-2005) exigía la definición de uno nuevo. El actual Plan aprobado el 8 de junio de 2007 por el Consejo de Ministros y con un coste estimado de 19.007 millones de euros, pretendía completar el cumplimiento de las exigencias comunitarias; es decir, contribuir a alcanzar en el año 2015 los objetivos ambientales de la Directiva Marco del Agua y del programa AGUA⁴, afrontar las nuevas inversiones derivadas de la revisión de las zonas sensibles (200 aglomeraciones afectadas por la Resolución de julio de 2006) y facilitar la reutilización de las aguas depuradas hasta niveles que pudieran llegar a alcanzar los 3.000 hectómetros cúbicos anuales.

El Plan contempla desde un primer momento la participación activa de las Comunidades y Ciudades Autónomas y de las Corporaciones Locales, que son los entes principalmente responsables del cumplimiento de la Directiva, así como de los Organismos de Cuenca, competentes en el control de los vertidos de las Estaciones Depuradoras de Aguas Residuales (EDAR) a los cauces públicos así como los agentes sociales (empresarios, sindicatos, ONG's, universidades...). Según recoge el propio Plan, fruto de las reuniones mantenidas durante su elaboración, coinciden en destacar *“a la gestión de las infraestructuras como el verdadero caballo de batalla sobre el que se debería debatir y proponer soluciones, como pueden ser las mancomunidades o los consorcios. Siguen existiendo problemas de explotación por parte de los ayuntamientos que recepcionan las obras financiadas por las Comunidades Autónomas.... Para los pequeños municipios, la solución pasaría por estructurar entes de gestión”*.

La fórmula escogida para la financiación de las inversiones pendientes fue, al igual que en el Primer Plan 1995-2005, a través de Convenios Bilaterales entre la Administración General del Estado y las Administraciones competentes con una serie de requisitos vinculados a las actuaciones: por un lado, la Comunidad Autónoma se comprometía a promover ante su Parlamento la creación de una figura impositiva que garantizara como mínimo el mantenimiento de las instalaciones que se ejecutaran en el marco del Plan y por otro lado, la aprobación o adecuación en su caso de un Plan Regional de Saneamiento.

En cuanto a la necesidad de someter estos Planes Regionales a evaluación ambiental y como ya se señalaba el Primer Plan, se vuelve a reiterar: *“En este sentido, y tras analizar la Ley 9/2006 de 28 de abril sobre evaluación de los efectos de determinados planes y programas en el medio ambiente, se ha concluido que no era necesario someter a evaluación ambiental estratégica el presente Plan Nacional de Calidad de las Aguas ya que es un documento de coordinación y colaboración entre administraciones competentes en el campo del saneamiento y la depuración. Hay que señalar, sin embargo, que los Planes o programas autonómicos o regionales de*

⁴ AGUA: Actuaciones para la gestión y utilización del agua.

Saneamiento y Depuración sí pueden necesitar estar sometidos a la correspondiente evaluación ambiental estratégica, ya que esta figura entra de lleno dentro de las consideradas por la Ley 9/2006 como obligadas a este trámite”(negrita de los autores).

El Plan Nacional de Calidad de las Aguas 2007-2015 establece las líneas generales de actuación y en concreto los nuevos requerimientos que garanticen avanzar hacia el grado de conformidad requerido, esto es:

- a) Actuaciones en aglomeraciones urbanas por las declaraciones de zonas sensibles
- b) Actuaciones para cubrir necesidades futuras (remodelaciones de depuradoras actualmente conformes, tanques de tormenta, ...)
- c) Actuaciones para garantizar el cumplimiento de los objetivos ambientales de la Directiva Marco de Agua, algunas de las cuales afectarán a Aglomeraciones Urbanas menores de 2.000 habitantes equivalentes que deberán disponer de un tratamiento adecuado.
- d) Actuaciones de saneamiento (redes de colectores, estaciones de bombeo de aguas residuales, no incluyendo depuración)
- e) Actuaciones encaminadas a fomentar la I+D+i en el campo del saneamiento y la depuración.

Para estas últimas actuaciones el Plan destina una partida presupuestaria para impulsar actividades de investigación, desarrollo e innovación en el campo del saneamiento y la depuración y entre otros ejemplos destaca la siguiente línea de investigación: *“Depuración de pequeños núcleos de población mediante sistemas de bajo mantenimiento”*.

Como se verá más adelante, y dentro de esta línea de actuación, la Confederación Hidrográfica del Duero promovió en el año 2008 catorce proyectos experimentales en localidades de la cuenca de menos de 2.000 habitantes equivalentes.

2.1.2. Ley 6/2001 de Ordenación y Participación de la gestión del Agua en Aragón

Para dar cumplimiento a los requisitos recogidos en el Plan Nacional de Calidad de las Aguas, el Gobierno de Aragón aprobó la Ley 6/2001 que entre cuestiones recogía:

- a) Planificación sobre el saneamiento y la depuración a través del Plan Aragonés de Saneamiento y Depuración (y de sus planes zonales)
- b) Establecer un régimen económico financiero específico para la financiación de la actuación de la Comunidad Autónoma en materia de depuración y saneamiento a través de la creación del CANON DE SANEAMIENTO (impuesto de finalidad ecológica que tiene la naturaleza de recurso tributario cuya naturaleza se afectará a la financiación de las actividades de prevención de la contaminación, saneamiento y depuración.
- c) Creación del Instituto Aragonés del Agua: entidad de derecho público que tiene la función de ejercer las competencias de la Comunidad Autónoma de Aragón en materia hidráulica: formulación de planes, coordinación con las entidades locales en las materias objeto de esta ley y la gestión y recaudación del canon.

2.1.3. Plan Aragonés de Saneamiento y Depuración (2001) y sus planes de desarrollo

En junio de 2001 el Gobierno de Aragón aprueba definitivamente el Plan Aragonés de Saneamiento y Depuración al que se le confiere naturaleza de Directriz Parcial Sectorial según la tipología establecida en la Ley de Ordenación del Territorio. El Plan que contó, en palabras del legislador, con *“la unanimidad política, técnica y social... a lo largo de todo su proceso de tramitación”* se erigía como un instrumento *“que sin duda resulta fundamental para mejorar la calidad de nuestras aguas”*. Los efectos de su aprobación suponían:

- a) El comienzo de la elaboración de los planes de zona de saneamiento y depuración.
- b) La declaración de utilidad pública e interés social, la necesidad de ocupación y urgencia a efectos de la expropiación forzosa, de las obras, terrenos e instalaciones necesarias para la realización de las actuaciones contenidas en el Plan.
- c) La aplicación del canon de saneamiento en los términos previstos en la Ley de Saneamiento.

Los plazos previstos: 2005, para depurar todas las aguas residuales urbanas de aglomeraciones de más de 1.000 habitantes equivalentes y realizar los tratamientos adecuados; 2015, depurar todas las aguas residuales urbanas; 2025, año horizonte en cuanto a previsiones de explotación y amortización de la inversión principal.

Los objetivos previstos, además de los exigidos por la Directiva Comunitaria de depuración de aguas residuales, aumentar y garantizar la información al público de estos temas.

El Plan divide el territorio de Aragón en cinco grandes zonas: Pirineo, Somontano del Pirineo, Depresión del Ebro, Somontano de la Ibérica y Sistema Ibérico, excluyendo los datos de Zaragoza capital que según indica *“podían introducir una fuerte distorsión por su tamaño, muy superior a los demás núcleos de Aragón”*.

Además establece el cálculo de los habitantes equivalentes de diseño a través de cuatro variables independientes: habitantes de hecho, viviendas principales, viviendas secundarias y número de empleos industriales. Con ello se obtienen unos coeficientes para cada una de las zonas que aplicados a la fórmula de cálculo empleada da como resultado *“una aproximación estadística a la realidad, y puede diferir del dato que se obtenga mediante un estudio empírico (medición real de caudal y la DBO). Es decir, en cada dato individual **puede haber divergencias incluso importantes**. En cambio, la desviación será, en el conjunto de datos, limitada, y por tanto este método es válido a los efectos de esta planificación”* (negrita de los autores)

En cuanto a los tipos y niveles de tratamiento se recoge: *“Se sigue aquí la terminología de la Directiva 91/271 y del Plan Nacional de Saneamiento. Se desarrollan algunos aspectos concretos aplicando criterios habituales de la literatura especializada”*. En base a ello se mencionan y definen:

- a) Tratamiento primario.

- b) Tratamiento secundario.
- c) Tratamiento más riguroso.
- d) Tratamiento adecuado.
- e) Tratamiento recomendado. En este apartado se recoge: *“Se recomienda adoptar tratamientos incluidos dentro de los límites del siguiente Cuadro. Mediante estudios específicos detallados podrán adoptarse otras soluciones distintas en función de la naturaleza del vertido y del cauce receptor”* (negrita de los autores).

TRATAMIENTO	HABITANTES EQUIVALENTES					
	0-100	100-400	400-1.000	1.000-2.000	2.000-5.000	(5.000)
Fosa Séptica.	Sí	No				
Tanque Imhoff.	Sí	Sí (1)	No			
Filtros percoladores.		Sí (2)				
Biodiscos.		Sí (2)				Sí (3)
Fangos activos convencional.	No					Sí (4)
Aireación prolongada.		Sí				
Canales de oxidación.		Sí				
Filtros biológicos aireados.				Sí (2)		
Aplicaciones subsuperficiales	Sí (5)			No		
Aplicaciones superficiales	Sí (6)			No		
Lagunas naturales	No		Sí (7)		No	
Lagunas artificiales	No			Sí (8)		No
Físico - químico.	No				Sí (9)	

Figura 3. Sistemas de tratamiento a aplicar en función de los habitantes equivalentes. Fuente: BOA num. 124 de 22 de Octubre de 2001.

Desarrollo del Plan Aragonés de Saneamiento y Depuración:

- En el año 2004 el Gobierno de Aragón aprueba el Plan Especial de Saneamiento y Depuración de aguas residuales que aborda una parte del Plan Aragonés de Saneamiento y Depuración y el fin del mismo es acometer las obras de depuración de aguas residuales pendientes de ejecutar en núcleos de más de 1000 habitantes equivalentes. Para la ejecución del mismo se realiza una división estratégica en 13 zonas en las que se distribuyen las futuras 132 depuradoras en los 171 municipios pertenecientes al Plan.
- En el año 2008 se aprueba el Plan Integral de Depuración del Pirineo Aragonés (Plan Pirineos). Está diseñado para acometer 297 actuaciones en 292 núcleos de población de 62 municipios de las comarcas de Jacetania, Alto Gállego, Sobrarbe y La Ribagorza afectando a una población de 20.000 habitantes. Las actuaciones a ejecutar se distribuían en las siguientes cuatro zonas de actuación:
 - o Zona P1: río Aragón
 - o Zona P2: río Gállego
 - o Zona P3: ríos Cinca y Ara
 - o Zona P4: ríos Ésera y Noguera Ribagorzana.

Un año antes de la aprobación del Plan Pirineos el Departamento de Medio Ambiente del Gobierno de Aragón publica las “Bases para la política del Agua en Aragón”⁵ definido en el texto de dicha Orden como *“instrumento fundamentalmente entendido desde la finalidad de la planificación hidrológica”* y con el fin de definir y

⁵ Orden de 6 de febrero de 2007 del Departamento de Medio Ambiente, por la que se ordena la publicación de las “Bases de la Política del Agua en Aragón” y las Resoluciones aprobadas por las Cortes de Aragón, en la tramitación de las citadas bases. (Boletín Oficial de Aragón num. 24 de 26-02-2007)

alcanzar nuevos objetivos de calidad a través de la delimitación de tramos fluviales en los ríos que discurren por la Comunidad Autónoma de Aragón y una estimación de la carga contaminante de vertidos evaluada por el Instituto Aragonés del Agua.

Respecto al tratamiento de las aguas residuales en las poblaciones aragonesas se afirmaba que: *“la gran mayoría de las principales poblaciones de Aragón disponen ya de depuradora, lo que permite el tratamiento del 61,56% de las aguas residuales. Actualmente se encuentra en construcción o en proceso de licitación y adjudicación un 23,25% de la carga contaminante de la Comunidad Autónoma y las depuradoras que tienen su financiación comprometida suponen un 4,32% más.*

Respecto a la gestión de los servicios se aseveraba que: *“La mayoría de los ayuntamientos con estación depuradora en funcionamiento han delegado en el Instituto Aragonés del Agua la gestión de la misma. De esta manera se consigue implantar un sistema de gestión coherente y homogéneo en todo el territorio de la Comunidad Autónoma, al mismo tiempo que permite aplicar las ventajas de la economía de escala en la gestión de estas instalaciones, permitiendo afrontar a un precio razonable y con adecuado soporte técnico su correcto mantenimiento, habida cuenta de la agrupación que se realiza de instalaciones próximas de tamaño medio – pequeño en un mismo contrato. Los costes de explotación del escaso número de instalaciones gestionadas directamente por las entidades locales son financiados por el Instituto Aragonés del Agua, integrándose el nivel técnico en el mismo sistema de gestión autonómico que el resto de instalaciones gestionadas directamente por el IAA.”*

Y continuaba: *“La implantación del **canon de saneamiento** (impuesto autonómico de finalidad ecológica afectado a las actividades de prevención de la contaminación, saneamiento y depuración) en los términos establecidos en la Ley 6/2001 hace que **todos los ciudadanos contribuyan por igual al mantenimiento del sistema**, implantando un sistema **solidario** en todo el territorio y favoreciendo a los pequeños municipios, que de otra manera tendrían que asumir importantes costes que harían inabordable tanto la construcción como el posterior mantenimiento de las instalaciones”*(negrita de los autores).

2.1.4. Revisión del Plan Aragonés de Saneamiento y Depuración (2009)

Por Decreto 107/2009 de 9 de junio del Gobierno de Aragón se aprueba la revisión del Plan Aragonés de Saneamiento y Depuración cuyo documento técnico se inserta en la publicación que del mismo se hace en Boletín Oficial de Aragón⁶. Dicha revisión ha sido analizada recientemente por el jurista Abel La Calle Marcos⁷ constatando, entre otras cuestiones, la referida a la necesidad de evaluación ambiental estratégica y que ya se recogía en el Plan Nacional de Calidad de las Aguas 2007-2015. Al respecto La Calle apunta: *“La inexistencia de evaluación ambiental estratégica de la revisión del Plan de Saneamiento y Depuración Aragonés conlleva la ausencia de un*

⁶ Decreto 107/2009 de 9 de junio del Gobierno de Aragón por el que se aprueba la revisión del Plan Aragonés de Saneamiento y Depuración. BOA num. 125, de 01-07-2009.

⁷ Dictamen jurídico relativo a la revisión del Plan Aragonés de Saneamiento y Depuración aprobado por el Gobierno de Aragón a través del Decreto 107/2009 de 9 de junio y su compatibilidad con el derecho de la Unión Europea. Mayo 2013. Abel La Calle Marcos. La Calle Asociados CB. A petición de la Asociación de Entidades Locales del Pirineo Aragonés (ADELPA).

análisis de alternativas razonables que tengan en cuenta los objetivos y el ámbito de aplicación geográfico del plan, que debiera haberse realizado en el informe medioambiental en conformidad con el artículo de la Directiva de Evaluación Ambiental Estratégica.” Y continua: “Dicho estudio debiera haber incluido un análisis coste-eficacia que hubiera permitido contrastar la eficacia económica, social y ambiental de las medidas adoptadas, las técnicas a utilizar...(...) Además este análisis de alternativas de la evaluación ambiental estratégica permitiría cumplir con la obligación que establece el artículo 9 en relación al anexo III de la Directiva Marco del Agua, al exigir que en la determinación del Programa de medidas (recuérdese que el cumplimiento de la Directiva de Aguas Residuales en una medida básica de dicho Programa) se realice un análisis que permita estudiar la combinación más rentable de medidas y por tanto reducir los costes y aumentar la eficacia para la consecución de los objetivos medioambientales de las Directivas de Aguas Residuales y de la Directiva Marco de Agua”.

Además de no tener en cuenta dichas prescripciones, tanto el Plan como su Revisión, ignoraron explícitamente la recomendación del Ministerio de Medio Ambiente que, a través de un Manual elaborado por el CEDEX (Ortega, 2010), recogía las siguientes apreciaciones en lo que a insostenibilidad financiera de las depuradoras convencionales proyectadas para los pequeños núcleos se refería con el fin de evitar costes inasumibles e ineficientes de gestión:

*“La distribución competencial en la materia, la escasa entidad de las actuaciones, la casuística tan variada que se puede presentar en este rango de población y la falta de experiencia, han provocado que la implantación de sistemas de depuración en pequeñas poblaciones no sea una materia suficientemente conocida por las administraciones responsables de realizar estas actuaciones. Con frecuencia, las plantas depuradoras para el tratamiento de los vertidos generados en las pequeñas aglomeraciones urbanas, se han concebido y diseñado como meros modelos a escala reducida de las grandes instalaciones de depuración. Como consecuencia, un gran número de estaciones de tratamiento de pequeños núcleos de población **presentan unos costes de explotación y mantenimiento difícilmente asumibles** por estas entidades, dotadas generalmente con recursos técnicos y económicos muy limitados.*

*Es importante **tener en cuenta la mayor relevancia de los costes de explotación frente a los de implantación.** Por un lado, la amortización de la instalación por habitante equivalente y año representa un valor relativamente bajo frente a los gastos de explotación. Por otro lado, hay que tener en cuenta que son en realidad los costes de explotación y no los de implantación los que han provocado el fracaso de muchas pequeñas instalaciones de depuración”*(negrita de los autores).

2.1.5. Convenios entre el Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino y la Comunidad Autónoma de Aragón: 2008 y su modificación en 2011

Tal y como establecía el Plan Nacional de Calidad de las Aguas 2007-2015 (PNCA) la fórmula escogida para la financiación de las inversiones en materia de saneamiento y depuración fue, al igual que en el Primer Plan 1995-2005, a través de Convenios Bilaterales entre la Administración General del Estado y las Administraciones competentes, en este caso con las Comunidades Autónomas.

- En abril de 2008⁸ se firma el primer convenio entre el Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino y la Comunidad Autónoma de Aragón por el que se fija el esquema de coordinación y financiación para la ejecución de actuaciones enmarcado dentro del Convenio de colaboración-protocolo general suscrito el 2 de octubre de 2007. Siguiendo el modelo previsto en el PNCA el Ministerio de Medio Ambiente “efectuará libramientos mensuales en cada ejercicio al Gobierno de Aragón por importe total equivalente a la anualidad prevista en la tabla de la cláusula tercera a).

Cláusula tercera a)... el Ministerio de Medio Ambiente abonará, con cargo a las actuaciones de los capítulos correspondientes... (....) la cantidad máxima de ciento sesenta y nueve millones ciento veinticinco mil euros (169.125,00 Euros) para la consecución de los objetivos perseguidos en este convenio, con arreglo a las anualidades previstas en la siguiente tabla:

Importe en miles de euros

2008: 30.000

2009: 46.375

2010: 46.375

2011: 46.375

TOTAL: 169.125”

Con ello el Gobierno de Aragón llevaría a cabo la gestión de la construcción y explotación de las obras listadas en el **Anexo I**⁹ (correspondientes a los municipios que forman parte del Plan Integral de Depuración del Pirineo), “*declaradas de interés general por la Administración General de Estado*”. Así mismo se recoge un cronograma para alcanzar los objetivos previstos. Concretamente para las cuatro zonas pirenaicas se establecía:

Tabla 3. Cronograma para alcanzar los objetivos previstos en el convenio de 2008 entre el Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino y la Comunidad Autónoma de Aragón. Elaboración propia. Datos Convenio MARM- Gobierno Aragón (BOE Núm. 260, 28/10/2008).

Zona	Fecha comienzo actividades previas	Fecha licitación	Fecha adjudicación	Puesta en marcha EDAR >1000 HE	Puesta en marcha depuración integral
PIRINEOS P1 ARAGON	01/08	11/08	03/09	11/10	03/11
PIRINEOS P2 GALLEGO	01/08	11/08	03/09	11/10	03/11
PIRINEOS P3 CINCA Y ARA	06/08	05/09	09/09	03/11	09/11
PIRINEOS P4 ÉSERA Y NOGUERA RIBAGORZANA	06/08	05/09	09/09	03/11	09/11

⁸ Resolución del 29 de julio de 2008, de la Dirección General del Agua, por la que se publica el Convenio de colaboración, entre el Ministerio de Medio Ambiente y la Comunidad Autónoma de Aragón, por el que se fija el esquema general de coordinación y financiación para la ejecución de actuaciones en la Comunidad Autónoma del Plan Nacional de Calidad de las Aguas: saneamiento y depuración 2008-2015 y del ciclo integral del agua. BOE num. 260 de 28-10-2006.

⁹ Ver **Anexo I**.

- En Febrero de 2011 se modifica y prorroga el Convenio anterior y se procede a su publicación en marzo del mismo año¹⁰. En el artículo 2 de la exposición de motivos se justifica dicha modificación: “Que, como consecuencia del Plan de Acción Inmediata y del Plan de Austeridad aplicado por el entonces Ministerio de Medio Ambiente, en la actualidad Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, se hace necesario adaptar los créditos disponibles hasta su finalización, adecuándolos a las anualidades de las obras contratadas y a la previsión de ejecución del resto de actuaciones que tengan cabida *en dicho Convenio*” Y prosigue en su artículo 4: “ *En este sentido, se pone de manifiesto la necesidad de adaptar los Anexos del convenio a la realidad de las obras que finalmente se van a ejecutar, manteniéndose la necesidad de que cada año la Comisión de Seguimiento acuerde las obras a realizar con cargo al convenio*”.

Así, la cantidad máxima de 169.125,00 Euros se distribuirá de la siguiente forma:

2008: 30.000.000,00

2009: 46.375.000,00

2010: 23.187.500,00

2011: 16.690.690,00

2012: 7.777.310,00

2013: 17.544.110,00

2014: 23.000.000,00

2015: 4.550.390,00

Respecto al abono y liquidación se recoge: “*Se procederá igualmente a la reducción de dicha transferencia para el año siguiente cuando la fecha de puesta en marcha de las EDARES o de la depuración integral, recogida en el Anexo III, no se produzca en el año señalado*”.

Tabla 4. Cronograma para alcanzar los objetivos previstos en el convenio de 2011 entre el Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino y la Comunidad Autónoma de Aragón. Elaboración propia. Datos Acuerdo modificación y prórroga Convenio MARM- Gobierno Aragón. Anexo III (BOE Núm. 53 de 3 marzo 2011).

Zona	Fecha comienzo actividades previas	Fecha licitación	Fecha adjudicación	Puesta en marcha depuración integral
P1 ARAGON	01/08	12/08	10/09	10/14
P2 GALLEGO	01/08	12/08	09/09	10/14
P3 CINCA Y ARA	06/08	12/08	05/10	10/14
P4 ÉSERA Y NOGUERA RIBAGORZANA	06/08	12/08	10/09	10/14

¹⁰ Resolución de 15 de febrero de 2011, de la Dirección General del Agua, por la que se publica el Acuerdo de modificación y prórroga del Convenio de colaboración con la Comunidad Autónoma de Aragón, por el que se fija el esquema general de coordinación y financiación para la ejecución de actuaciones del Plan nacional de calidad de las Aguas: saneamiento y depuración 2008-2015 y del ciclo integral del agua. BOE num. 53 de 03-05-2011.



En los listados de ambos anexos se proyectan depuradoras en núcleos donde ya no vive gente.

Ejemplos como Morillo de Sampietro (TM de Boltaña), donde además no vivir nadie tampoco cuenta con servicio de alcantarillado (ni abastecimiento de agua potable) se valora 1 habitante de derecho y 4 habitantes equivalentes para proyectar una inversión de 6.000 euros o Santa Olaria de Ara (TM de Fiscal), donde sólo vive 1 persona, se valoran 11 habitantes equivalentes para proyectar una inversión de 50.000 euros.

2.1.6. Los convenios entre Ayuntamientos y el Instituto Aragonés del Agua para la delegación de la competencia de saneamiento: posible lesión de la autonomía municipal

La normativa estatal y autonómica en materia de régimen local establece lo siguiente en relación a la competencia de depuración de aguas residuales.

Art. 25 Ley Bases de Régimen Local 7/1985. “El municipio ejercerá en todo caso, competencias, en los términos de la legislación del Estado y de las Comunidades Autónomas, en las siguientes materias:

1) Suministro de agua y alumbrado público; servicio de limpieza viaria, de recogida y tratamiento de residuos, alcantarillado y tratamiento de aguas residuales.

Art. 42. Ley Administración Local Aragonesa 7/1999. “Los municipios, en el ejercicio de su autonomía y en el ámbito de sus competencias, pueden promover toda clase de actividades y prestar cuantos servicios públicos contribuyan a satisfacer las necesidades y aspiraciones de la comunidad vecinal. Los ámbitos de la acción pública en los que los municipios podrán prestar servicios públicos y ejercer competencias, con el alcance que determinen las leyes del Estado y de la Comunidad Autónoma reguladoras de los distintos sectores de la acción pública, serán los siguientes:

1) El suministro de agua, el alcantarillado y el tratamiento de aguas residuales.

No obstante, la Ley 6/2001 de Participación y gestión del agua en Aragón, recoge en su artículo 8.3: “*Según lo establecido por la legislación aplicable, las entidades locales podrán delegar el ejercicio de sus competencias sobre abastecimiento, saneamiento y depuración en la Administración de la Comunidad Autónoma*”

En base a ello, y por acuerdo del Consejo de Dirección del Instituto Aragonés del Agua (IAA) de fecha 14 de abril de 2009¹¹ se aprobó la propuesta de Convenio a

¹¹ Información extraída de la ORDEN de 29 de abril de 2011 del Departamento de medio Ambiente por la que se dispone la publicación del acuerdo del Gobierno de Aragón de 26 de abril de 2011, por el que se declara la urgencia de los procedimientos de expropiación forzosa incoados o que sea necesario iniciar para la ejecución de las obras hidráulicas previstas en los municipios y entidades locales menores incluidas en el Plan Integral de

otorgar entre el IAA y distintas entidades locales por la que se delega en el IAA, en el marco del art. 8.3 de la Ley 6/2001 arriba mencionado, la competencia para la construcción y explotación de una Estación Depuradora de Aguas Residuales (EDAR) para dar servicio a la entidad local firmante de cada Convenio.

En cada Convenio se establece que el Instituto Aragonés del Agua, directamente o por medio del Departamento de Medio Ambiente, obtendrá los terrenos necesarios para la construcción de la (s) EDAR. En el supuesto de que algunos de los terrenos necesarios fuesen de titularidad pública de la Entidad Local firmante del Convenio, serán cedidos por la misma gratuitamente al Instituto Aragonés del Agua en el plazo de tres meses desde que el Ayuntamiento reciba notificación de la necesidad del mismo.

El resto del articulado, según los convenios publicados en el Boletín Oficial de Aragón, recoge de forma común para todos ellos:¹²

- a) Exención de la licencia urbanística por ser declaradas las obras de interés autonómico.
- b) Asunción por parte del IAA de la aprobación, licitación, adjudicación y dirección de la construcción de la depuradora.
- c) Financiación a cargo del IAA a través del canon de saneamiento.
- d) Titularidad del vertido: de la Entidad Local y por tanto exigencia de cumplimiento del Reglamento de Vertidos a efectos del cobro del “canon de vertido” que recauda la Confederación Hidrográfica y que se paga según las características del vertido y el grado de contaminación del vertido (por un vertido con tratamiento no adecuado de depuración hay que pagar 5 veces más).
- e) Creación de una Comisión de Seguimiento para canalizar la participación de las partes así como conocer y resolver las incidencias administrativas y, en particular, las implicaciones financieras.
- f) Causas de extinción: El convenio se extinguirá por imposibilidad de realización de las actuaciones que constituyen su objeto, inicialmente o a lo largo de su vigencia (teniendo en cuenta que su vigencia es “indefinida”) y por el resto de las causas previstas en el ordenamiento jurídico. En atención a la inversión requerida para el ejercicio de las competencias que son objeto de delegación por el Convenio, las partes se obligan a abrir un proceso de liquidación en caso de extinción del convenio por revocación de la delegación por parte de la entidad delegante (ayuntamiento) de manera que se compensen todas las inversiones y obligaciones asumidas por las partes en el ejercicio de las actuaciones objeto del convenio, incluidas las asumidas con terceros.

A día de hoy pocos son los Ayuntamientos que no han firmado el convenio de delegación de competencias -en algunas ocasiones bajo presiones del propio Instituto Aragonés del Agua-, y lo que empezó siendo una iniciativa de colaboración entre el

Depuración de los Pirineos (zonas P-2, P-3 y P-4) y relacionadas en el anexo del presente acuerdo incluidas todas ellas en el Plan Aragonés de Saneamiento y Depuración. BOA num. 96 de 18/05/2011.

¹² Información extraída de diversos Convenios publicados entre el IAA y ayuntamientos del Pirineo: BOA 13-06-2013 (Convenio de colaboración entre los Ayuntamientos de Aínsa-Sobrarbe y Boltaña y el IAA para la delegación de determinadas competencias en materia de depuración de aguas residuales) BOA 23-07-2012 (Convenio de colaboración entre los Ayuntamientos de Castejón de Sos y Liri y el IAA para la delegación de determinadas competencias en materia de depuración de aguas residuales), BOA 26-02-2013 (Convenio de colaboración entre el Ayuntamiento de Sopeira y el IAA para la delegación de determinadas competencias en materia de depuración de aguas residuales)

Gobierno de Aragón y los Ayuntamientos recogida en la propia Ley de Bases de Régimen Local¹³ (artículos 10 y 55) prestando a las administraciones que lo precisen auxilio y asistencia activa, se ha convertido en la práctica en un secuestro de la competencia de depuración por parte del Instituto Aragonés del Agua sin respetar el principio de autonomía local, entendido como la intervención de los entes locales en cuantos asuntos afecten directamente al círculo de sus intereses, en este caso, la depuración de sus aguas residuales. Es decir, la capacidad para ordenar y gestionar bajo su propia responsabilidad una parte sustancial de los asuntos públicos mediante el impulso de políticas propias. Así y como veremos a continuación no es lo mismo la colaboración voluntaria entre administraciones que las técnicas cuasi imperativas utilizadas en este caso dado que:

- a) La cooperación se caracteriza por ser voluntaria situando a las entidades cooperantes en el mismo nivel de igualdad jurídica e impidiendo que ninguna de ellas imponga su decisión a la otra.
- b) La cooperación no supone un límite a las competencias respectivas de las entidades cooperantes sino que tiene precisamente como límite la titularidad de dichas competencias.
- c) La cooperación, incluida dentro del principio general de colaboración entre administraciones, puede llevarse a cabo a través de traslados de competencia: transferencia, delegación o encomienda de gestión y bajo el “criterio rector que facilite la colaboración y cooperación entre las diferentes Administraciones Públicas”, esto es, bajo el principio de “lealtad institucional” que señala en su exposición de motivos la Ley 30/1992 de Régimen Jurídico de las Administraciones Públicas y del Procedimiento Administrativo Común.¹⁴

Es esta última Ley la que recoge la definición de “convenio de colaboración” distinguiendo aquellos que se “limiten a establecer pautas de orientación política sobre la actuación de cada Administración en una cuestión de interés común o a fijar el marco general y metodología para el desarrollo de la colaboración en un área de interrelación competencial”¹⁵ (Protocolos Generales) de aquellos otros convenios que dada su naturaleza contractual recogen una serie de compromisos exigibles en vía jurisdiccional.

Los convenios de colaboración firmados entre el Gobierno de Aragón y los Ayuntamientos establecen que en las materias de saneamiento y depuración: *“deben ejercerse de forma coordinada, exigen canalizar el principio de cooperación y articular la actividad común entre ambas Administraciones para su mejor desarrollo, de forma que sirvan mas eficazmente al interés público que tienen encomendado”*¹⁶ para a renglón seguido enumerar los compromisos que, tanto una administración como otra, van a llevar a cabo, tratándose de compromisos jurídicamente vinculantes y por lo tanto, llegado el caso, exigibles en vía jurisdiccional en caso de incumplimiento por alguna de las dos partes.

¹³ Ley 7/1985 de Bases de Régimen Local (BOE núm. 80 de 3-04-1985)

¹⁴ Ley 30/92 de 26 de noviembre de Régimen Jurídico de las Administraciones Públicas y del Procedimiento Administrativo Común (BOE núm. 285 de 27-11-1992), modificada por la Ley 4/1999 de 13 de Enero.

¹⁵ Art. 6. Ley 30/92 de 26 de noviembre de Régimen Jurídico de las Administraciones Públicas y del Procedimiento Administrativo Común (BOE núm. 285 de 27-11-1992), modificada por la Ley 4/1999 de 13 de Enero.

¹⁶ Op. Cit. Num. 12

Por último reseñar que la firma de estos convenios, precedida de un acuerdo plenario de aprobación, se llevó a cabo en multitud de ocasiones de forma posterior a la adjudicación de los contratos de concesión¹⁷. En el caso de la comarca de Sobrarbe (zona P-3) cuyo contrato se adjudicó el 19 de julio de 2010, dos son los ayuntamientos que a día de hoy siguen sin firmar el convenio (Bielsa y Plan). En el caso del Ayuntamiento de Bielsa, además, con fecha 3 de abril de 2009 su corporación tomó la decisión de no proceder a la firma del convenio y de darle traslado de dicho acuerdo al Instituto Aragonés del Agua que, por aquel entonces, ya había aprobado el inicio de licitación los contratos.

2.1.7. La fórmula escogida de licitación de los contratos: colaboración público-privada versus gestión directa

Por acuerdo de 16 de diciembre de 2008, se autorizó la celebración de los siguientes contratos de concesión de obra pública para la ejecución del Plan Integral de Depuración del Pirineo Aragonés:

- a) Zona P-1, río Aragón.
- b) Zona P-2, río Gállego.
- c) Zona P-3, ríos Cinca y Ara.
- d) Zona P-4, ríos Ésera y Noguera Ribagorzana.

La licitación de dichos contratos para la redacción de los proyectos, construcción y explotación de las EDAR de las cuatro zonas arriba referenciadas se publicó en el BOA de 30-12-2002. En el dictamen de La Calle (2013) se analiza pormenorizadamente el pliego de cláusulas administrativas particulares y el de prescripciones técnicas que regían dichos contratos, en este caso, el correspondiente a la zona P-4 “Ríos Ésera y Noguera Ribagorzana”. El autor desgana los elementos más importantes para delimitar la naturaleza contractual y para abordar el posible incumplimiento del Derecho de la Unión Europea como se verá más adelante.

La adjudicación de los contratos se llevó para las zonas P-1, 2 y 4 el 19 y 23 de octubre de 2009 y para la zona P-3 con fecha 19 de julio de 2010 y en abril de 2011 se declaró la urgencia de los procedimientos de expropiación forzosa exigiendo la pronta puesta a disposición de los terrenos a los adjudicatarios de los contratos de concesión con la salvedad recogida en el punto primero del acuerdo dispositivo: *“en todos los casos en que la entidad local relacionada haya firmado el correspondiente Convenio de delegación con el Instituto Aragonés del Agua”*.

El contrato de concesión de obra público viene definido en el artículo 7 del Texto Refundido de la Ley de Contratos: *“La concesión de obras públicas es un contrato que tiene por objeto la realización por el concesionario de algunas de las prestaciones a que se refiere el artículo 6, incluidas las de restauración y reparación de construcciones existentes, así como la conservación y mantenimiento de los elementos construidos, y en el que la contraprestación a favor de aquél consiste, o bien únicamente en el derecho a explotar la obra, o bien en dicho derecho acompañado del de percibir un precio”*

¹⁷ En la actualidad ayuntamientos como Plan, Arén, y Murillo de Gállego no han aprobado ni suscrito dichos convenios.

Es decir, el concesionario asume el coste total de las obras y a cambio recibe como remuneración el derecho a explotar la misma, y percibir la retribución correspondiente, asumiendo así el riesgo y ventura de la explotación.

Ciertamente el pliego de cláusulas administrativas así lo recoge y nada se habla de la financiación que, tanto el Plan Nacional de Calidad de Aguas como los Convenios derivados de él, reconocen y comprometen para las actuaciones en saneamiento y depuración. Por lo tanto y en palabras de La Calle (2013): *“Si se considera que el Pliego de Cláusulas Administrativas particulares del contrato analizado responde a la realidad, el Gobierno de Aragón no ha ejecutado por sí mismo el compromiso previsto en el Anexo I del Convenio de financiar y ejecutar las obras de saneamiento.... (.....) ... Si por el contrario se considera que lo que responde a la realidad es el antedicho Convenio, el Gobierno de Aragón al financiar el coste de las obras de la fase 4, en la cantidad establecida en el Anexo I del mismo, habría cambiado necesariamente la naturaleza jurídica del contrato objeto de estudio, dado que estas intervenciones habrían cubierto casi la totalidad de la ejecución de las obras dado que se habría eliminado el riesgo inherente a la explotación por parte del contratista”* Y concluye: *“En cualquier caso, parece existir un incumplimiento jurídico aunque sean de distinta naturaleza, o bien se incumple el Convenio señalado y los fondos aportados por la Administración General del Estado se han utilizado con una finalidad diferente a la establecida, o bien se ha cumplido el Convenio y por tanto se incumplen las normas comunitarias de contratación y contabilización del déficit público”*

Que el Gobierno de Aragón optara por la fórmula de la concesión de obra pública englobada dentro de lo que se conoce como colaboración público-privada se justifica, por el propio personal del Instituto Aragonés del Agua¹⁸, precisamente en el hecho de que dichas infraestructuras no sean consideradas, a efectos del Sistema Europeo de Cuentas (SEC 95), como un activo de la administración con la consecuente deuda como contrapartida, por lo que *“se ha estructurado contractualmente la relación entre el Instituto Aragonés del Agua y los concesionarios de forma que sean transferidos a estos últimos los riesgos inherentes al contrato”* Así, prosiguen los autores: *“el Instituto Aragonés del Agua es la institución que promueve la construcción de la infraestructura de depuración de todo el territorio aragonés y traslada el coste global al usuario final a través del Canon de Saneamiento”*. En todo caso, de lo que se trata es de diferir el reconocimiento contable y presupuestario de esa financiación y el enmascaramiento del endeudamiento en que se incurre, con lo que durante el periodo de construcción no se aumentaría el gasto presupuestario ni tampoco habría un aumento de la deuda, facilitando el cumplimiento de las restricciones financieras presupuestarias. Es decir y en palabras de Benito (2006) *“se produce pues un diferimiento del gasto y del endeudamiento, por lo que con este modelo se mantiene el ritmo de inversión pública, pero se condiciona la deuda y los gastos presupuestarios de los años venideros”*

Otro planteamiento bien distinto hubiera sido el de acometer la inversión desde las propias entidades locales, a través de sus presupuestos y de la manera tradicional incluyendo la búsqueda de alternativas: subvenciones, préstamos, anticipos, ayudas

¹⁸ Plan Especial de Saneamiento y Depuración del Aragón: un modelo de gestión ambiental. M^a Asunción Fernández Martínez (Instituto Aragonés del Agua) e Ignacio Sánchez de Mora Andrés (Sociedad de Desarrollo Medioambiental de Aragón, S.A) en: http://www.ciccp.es/biblio_digital/Icitema_III/congreso/pdf/040207.pdf

excepcionales... con el preceptivo seguimiento contable y presupuestario y gestionando directamente el servicio público.

Este concepto de servicio público, actualmente impregnado por la corrientes privatizadoras que tienden no sólo a la reducción del sector público sino también a someter, en lo posible, al servicio público a las reglas de la competencia, nos lleva a analizar las características que identifican la gestión directa del servicio público y las diferentes modalidades que puede adoptar.

La asunción directa del servicio obedece a la técnica genérica de responsabilidad. Una responsabilidad no sólo referida al buen funcionamiento del servicio prestado sino a la responsabilidad de los resultados por parte de los gestores y por tanto la obligatoriedad de transparencia, rendición de cuentas a la ciudadanía, participación de los agentes en la toma de decisiones y buenas prácticas, amén de la consideración de criterios explícitos de eficiencia y calidad en la toma de decisiones.

Dentro del ámbito de la gestión asumida por los propios entes locales podemos diferenciar la gestión directa de la indirecta. En el primer caso, las opciones que plantea la Ley de Bases de Régimen Local, ordenadas de mayor a menor autonomía de actuación, irían desde la prestación por parte de la propia corporación, sin creación de entidad especial alguna, hasta la prestación realizada por un organismo diferenciado. La elección de una u otra depende básicamente de las características del servicio y del peso que, en el presupuesto del ente local, tenga la prestación del mismo. En la categoría de entes diferenciados, se enmarcarían los organismos autónomos locales, la entidad pública empresarial local y las sociedades mercantiles de participación pública exclusiva, junto con la novedosa Entidad Pública Empresarial Local definidas como organismos públicos a los que se encomienda la prestación de servicios públicos susceptibles de contraprestación. Por otro lado, entre los métodos de gestión indirecta encontramos: la concesión, la gestión interesada, el concierto y la sociedad mercantil mixta. Todas ellas tienen en común la mayor flexibilidad de la que disponen a la hora de gestionar sus recursos, si bien una de las diferencias más destacables que existe entre ellas radica en el distinto reparto de riesgos económicos derivados de su explotación. En apartados siguientes se abordarán nuevamente las fórmulas de gestión.

Así mismo, la ley permite, e incluso el propio Plan Nacional de Calidad de las Aguas recomendaba, la asociación de ayuntamientos entre sí constituyendo Mancomunidades para el establecimiento, gestión o ejecución en común de obras y servicios determinados dentro de sus competencias. La Comunidad Autónoma de Aragón cuenta con una larga tradición en lo que a existencia de Mancomunidades se refiere, constitutitas inicialmente en la mayoría de los casos para la prestación de servicios de recogida de residuos sólidos urbanos, protección civil, educación de adultos, etc... No en vano, muchas de ellas con el tiempo se transformaron en las actuales Comarcas (entidades territoriales constituidas por la agrupación de municipios limítrofes¹⁹). De igual forma, se podría recurrir a la fórmula de Consorcios: asociaciones de carácter vertical, con personalidad jurídica propia, dando cabida a otras administraciones públicas de diferente nivel (es decir, no solo locales sino también regionales).

¹⁹ Texto Refundido de la Ley de Comarcalización de Aragón aprobado por Decreto legislativo 1/2006 de 27 de diciembre. Boletín Oficial de Aragón de 30 diciembre de 2006.

2.1.8. Claves del colapso del plan y de su redefinición por el Gobierno de Aragón

2.1.8.1. Situación y grado de cumplimiento de la ejecución de los contratos

El 3 de diciembre de 2012 el Consejero de Agricultura, Ganadería y Medio Ambiente del Gobierno de Aragón, D. Modesto Lobón, elevaba respuesta a la solicitud de documentación num. 2879/12 presentada por el Diputado del Grupo Parlamentario Izquierda Unida Aragón D. Miguel Aso sobre la relación de obras de depuración paralizadas y la situación administrativa en la que se encontraba esta paralización.

La respuesta que contenía datos relativos tanto al Plan Especial de Depuración como al Plan de Depuración del Pirineo recogía:

- a) Que en la zona P1 (Jacetania) en aquellos momentos se habían entregado todos los proyectos constructivos y se estaba gestionando el modificado del contrato para adaptar el tamaño de las depuradoras a las necesidades reales.
- b) Que la zona P2 (Alto Gállego) era la zona más avanzada y se habían finalizado algunas obras (en total 20 depuradoras), entre las que se encuentra la EDAR de Bisecas-Gavín, una de las de mayor entidad de la zona. Todos los proyectos estaban aprobados y sus actas de replanteo firmadas, a falta de los que recogían las actuaciones de Tramacastilla, Sandiniés, El Pueyo de Jaca, Escarrilla y Panticosa, dado que la ubicación inicial, la plasmada en el Proyecto Básico para la depuración de El Pueyo, Escarrilla y Panticosa, no fue autorizada por la CHE, que instaron al IAA en su resolución a modificar la ubicación, que sería conjunta para esa EDAR y la de Tramascatilla y Sandiniés, para lo que se estaban realizando trabajos previos. Esta variación suponía una modificación de contrato, para lo que se estaban trabajando en esta dirección tanto desde el punto de vista jurídico como técnico.



Figura 4. Proyecto para depurar los núcleos de Escarrilla, Panticosa y El Pueyo y Sandiniés y Tramacastilla. Fuente: elaboración propia.

- c) Que en la zona P3 recientemente se había llevado a cabo la aprobación del Convenio de Aínsa, modificándose el emplazamiento seleccionado para la Depuradora de dicha localidad y reunificando las aguas residuales de Aínsa y Boltaña en una sola. Es por ello que en aquellos momentos se estaba trabajando en la redacción de un nuevo proyecto constructivo y de su correspondiente

expediente de modificación del contrato. Por otro lado, los municipios de Plan y Bielsa y las entidades locales menores de Saravillo y Serveto (dentro del municipio de Plan) ya comunicaron en su momento que no firmarían convenio con el IAA por lo que quedaban fuera del Plan Integral de Depuración del Pirineo Aragonés.



Fuente 5. Proyecto para depurar los núcleos de Aínsa y Boltaña. Fuente: elaboración propia.

- d) Que en la zona P4 las concesionarias habían presentado la mayoría de los proyectos de construcción: 59 proyectos se habían sometido a información pública y se habían aprobado definitivamente, 12 se habían entregado y se habían aprobado inicialmente a la espera de someterse a información pública y el resto, 5 proyectos constructivos se estaban analizando para su aprobación, con lo que en aquel momento casi el 94% de los proyectos constructivos estaban aprobados por el IAA. El avance en esa zona se había visto ralentizado por la problemática surgida en la depuradora del Valle de Benasque que debía dar servicio a las localidades de Anciles, Benasque, Eriste y Sahún. A pesar de haberse reunido la Comisión de Seguimiento del Convenio Sahún- IAA y haberse planteado medidas técnicas en la construcción de la depuradora no se había conseguido llegar a un acuerdo que satisficiera a todas las partes implicadas y por lo tanto la evolución de esa zona se encontraba pendiente de la decisión del Ayuntamiento de Sahún de seguir o no en el Plan.

Vale la pena reseñar que las empresas concesionarias son las grandes compañías constructoras (ACSA, Vialex, ACS...) que han migrado en sus actividades empresariales del ladrillo en crisis. Luís Babiano, gerente de AEOPAS (Asociación Española de Operadores Públicos de Abastecimiento y Saneamiento) ya ha bautizado este fenómeno como “*burbuja hídrica*”²⁰. De ahí se puede deducir que estas empresas cuentan con una mayor experiencia en la obra civil, pero no así en la gestión del servicio público por lo que los problemas vinculados al posible sobredimensionamiento de las obras proyectadas se podido volver contra estas empresas concesionarias al no encontrar respuesta favorable en las entidades bancarias para su financiación y por lo tanto, llegar a cuestionar la “rentabilidad del negocio”.

²⁰ Diario La Marea. Num. 1. Enero de 2013. “Bancos y grandes constructoras cambian el ladrillo por el agua”

En comparecencia ante las Cortes el 7 de marzo de 2013²¹, el Consejero Lobón afirmaba:

“En el Plan de Pirineos, tengo que decir que sí, que se va a alterar el proyecto en su globalidad, hasta el punto de que, como ustedes saben, el Plan de los Pirineos tenía como intención llegar a hacer unas trescientas depuradoras previstas, pues, bien, nuestra intención actual es hacer veintinueve, de las cuales, cuatro grandes y veinticinco pequeñas. Las doscientas setenta restantes en las distintas zonas, de momento no se va a hacer nada. Pero con este planteamiento, podríamos cubrir la depuración de los veinte mil habitantes, de los veintidós mil que tiene el Pirineo, con lo cual nos parece que sería realmente importante y habríamos cubierto una parte sustancial de lo que es el Pirineo... (..) ... le puedo decir que en las cuatro zonas en que estaba dividido el Plan Pirineos se van a rescindir los contratos de las cuatro zonas...”

A fecha de hoy el Plan Integral de Depuración del Pirineo se encuentra colapsado. La falta de financiación ha llevado a una situación de bloqueo por parte de las empresas concesionarias que en muchos casos ni siquiera han empezado a ejecutar ninguna de las actuaciones previstas (caso de la zona P-3, comarca de Sobrarbe) y que como declara el Consejero ha dado lugar a la rescisión de los contratos de adjudicación. En declaraciones recientes, el Consejero Lobón recordó que las obras estaban paradas por falta de financiación por lo que el Gobierno de Aragón iba a recurrir al Banco Europeo de Inversiones (BEI) para conseguirla, lo que supondría poner en funcionamiento el Plan y cambiar sustancialmente la situación en quince o dieciocho meses. Ante la posibilidad de que no se consiguiera la ayuda, *“el plan B del Gobierno es reducir de 297 a 29 el número de depuradoras”*²².

Este Plan “B” propuesto que rebaja sustancialmente el número de depuradoras incumpliría el objetivo previsto en el Plan de Saneamiento y Depuración (2001) *“construir depuradoras en los núcleos de más de 1000 h-e hasta 2010, lograr un tratamiento adecuado antes de 2015 y depurar todas las aguas residuales urbanas antes de 2015 e instalar colectores de aguas residuales en todas las aglomeraciones urbanas de más de 400 h-e”*. Además de ello y en primera instancia, sería necesaria la publicación del acuerdo de adopción y el contenido del mismo en el Boletín Oficial de Aragón tal y como establece la Directiva 2003/4²³.

2.1.8.2. Destino de los fondos de los Convenios

En apartados anteriores se ha analizado la controversia surgida en torno a la tipología de dichos contratos llegando a la conclusión de que, o bien existe un incumplimiento jurídico en lo que a la ejecución del Convenio entre el Ministerio de Medio Ambiente y el Gobierno de Aragón se refiere, o bien se incumplen las normas de contratación y de contabilización del déficit público.

En este sentido, el Instituto Aragonés del Agua con fecha 16 de abril de 2013 al escrito enviado por la Red Agua Pública de Aragón aclaraba cómo se habían invertido los fondos (128 millones de euros, según Convenio del 2011) en obras del ciclo integral

²¹ Diario de Sesiones del las Cortes de Aragón, núm. 46, año 2013, Legislatura VIII, p. 4267 y ss.

²² Diario del Alto Aragón. 9 de octubre de 2013.

²³ Directiva 2003/4/CE del Parlamento Europeo y del Consejo relativa al acceso del público a la información medioambiental.

del agua en todo Aragón. El escrito recogía que desde el año 2008 y hasta el año 2012 se habían invertido unos 122 millones de euros, desglosados de la siguiente manera:

- a) 90 millones en 900 obras del ciclo integral del agua repartidas en 490 municipios
- b) 16,5 millones en obras de gestión y tratamiento de purines: 4 plantas de tratamiento, una red de colectores y 2 balsas de almacenamiento.
- c) 14,6 millones en asistencias técnicas para la redacción de proyectos y estudios complementarios para direcciones de obra y gestión de expropiaciones (13.000 afectados) de las más de 400 actuaciones del Plan Especial y Plan Pirineos.
- d) 0,9 millones en estudios de emplazamiento de las depuradoras de menos de 1.000 habitantes equivalentes (aproximadamente 1100 núcleos de población).

Aún con el desconocimiento del destino de los 6 millones restantes (hasta los 128) podemos aventurarnos a afirmar que los fondos comprometidos en los Convenios firmados no han ido destinados explícitamente a la construcción de Estaciones Depuradoras de Aguas Residuales (tan sólo a asistencias técnicas para redacción de proyectos y estudios de emplazamiento), es más, según se señala en el escrito: *“Los últimos fondos europeos que se obtuvieron para la construcción de depuradoras finalizaron en el año 2006, no existiendo desde aquella fecha ningún nuevo paquete de fondos europeos para la construcción de depuradoras”*, y por tanto continúa en el escrito: *“se acudió a la figura de la concesión de obra pública para la construcción de las depuradoras del Plan Especial de Depuración y Plan Pirineos”*.

Visto así, el incumplimiento de ejecución de los contratos recaería sobre el concesionario de la obra que debía asumir en los plazos fijados en el pliego de cláusulas el coste total de ejecución de las obras, el derecho a explotar las mismas y percibir retribución correspondiente de lo recaudado por el Gobierno de Aragón y asumir el riesgo y ventura de la explotación.

2.1.9. La discutible figura del canon frente a la tasa municipal

El canon de saneamiento, según definición recogida en la Ley que lo regula (Ley 6/2001 de 6 de noviembre de Ordenación y Participación de la gestión del agua en Aragón), es un impuesto de finalidad ecológica que tiene la naturaleza de recurso tributario propio de la Comunidad Autónoma, cuyo producto sea afecta específicamente a las actividades de prevención de la contaminación, del saneamiento y de la depuración de aguas residuales previstas en la Ley y en su reglamento regulador. El hecho imponible lo constituye la producción de aguas residuales que se manifiesta a través del consumo de agua de cualquier procedencia o del propio vertido de las mismas²⁴.

Desde su aprobación en el año 2001 la ley ha sufrido varias modificaciones que han alterado la aplicación en el cobro del canon:

- a) Ley 12/2004 de Medidas Tributarias y Administrativas²⁵ incorporó una exención para aquellas entidades que tuvieran una población inferior a seiscientos

²⁴ Disposición Adicional Tercera de la Ley 6/2001 de Ordenación y Participación del agua en Aragón.

²⁵ Ley 12/2004 de 29 de diciembre de Medidas Tributarias y Administrativas (Boletín Oficial de Aragón, num. 153, 31-12-2004)

habitantes de derecho y no sirvieran aguas residuales a una depuradora en funcionamiento cuando dichas aguas se vertieran a una red de alcantarillado de titularidad pública. La relación de las entidades que cumplían los anteriores requisitos se aprobó por Orden de 18 de mayo de 2005 del Departamento de Medio Ambiente. Los usos no exentos disfrutaban de una bonificación del 50% en la tarifa del impuesto en tanto no se iniciase el vertido de aguas residuales a una depuradora en funcionamiento²⁶.

- b) La Ley 13/2005 de Medidas Tributarias y Administrativas²⁷ modificó las exenciones y bonificación, recogiendo que estarán exentos los usos de agua que viertan las residuales a una red de alcantarillado de titularidad pública y se realicen en entidades singulares de población cuyas aguas residuales no sean tratadas en una depuradora ni se haya licitado el contrato para la construcción de la instalación. Así mismo, los usos no exentos disfrutarían de una bonificación del 50% de la cuota hasta el momento en que la depuradora entrara en funcionamiento.²⁸ En diciembre del 2008 se licita la construcción y explotación de depuradoras, no adjudicándose los contratos hasta 2009 para las zonas P-1, 2 y 4 y para la zona P-3 con fecha 19 de julio de 2010. Ello implica que las poblaciones afectadas por dichos contratos quedan obligadas al pago del 50% del canon de saneamiento hasta que entren en funcionamiento las depuradoras.
- c) Y finalmente, la Ley 10/2012 de Medidas Fiscales y Administrativas²⁹ que, además de eliminar todas las exenciones de pago del canon, estableció que a partir del 1 de enero de 2014 dicho pago se exigirá a los usuarios de agua en todas las entidades de población de Aragón³⁰.

Cabe señalar no obstante la situación especial de la que goza el municipio de Zaragoza recogida a través de lo dispuesto en la Disposición Adicional Tercera de la Ley 6/2001 *“El canon de saneamiento se aplicará en todos los municipios de la Comunidad Autónoma de Aragón a partir del 1 de julio de 2005, sin perjuicio de lo establecido en la Disposición Adicional Cuarta”*. Y dicha disposición establece: *“1.- El municipio de Zaragoza se incorporará el 1 de enero de 2008 al sistema general del canon de saneamiento previsto en esta Ley. 2.- Se declara la compatibilidad en el municipio de Zaragoza de la aplicación del canon de saneamiento y la tasa municipal, sin perjuicio del límite del importe líquido de las tasas dispuesto en el artículo 9 de la Ley 5/2006 de 22 de junio de Tasas y Precios públicos de Aragón.*

A fecha de hoy se suceden multitud de situaciones respecto al cobro del canon en los municipios del Pirineo: desde el año 2009 los habitantes de la mayoría de los núcleos pirenaicos se ven obligados al pago del canon sin que en dichas entidades se esté tratando las aguas residuales ni se estén construyendo las depuradoras proyectadas.

²⁶ Disposición Transitoria Primera, apartado 2, de la Ley 6/2001 en la redacción dada por la Ley 12/2004 de 29 de diciembre de Medidas Tributarias y Administrativas.

²⁷ Ley 13/2005 de 30 diciembre de Medidas Fiscales y Administrativas en materia de tributos cedidos y Tributos propios de la Comunidad Autónoma de Aragón (Boletín Oficial Aragón núm. 154 de 31-12-2005).

²⁸ Disposición Transitoria Primera, apartado 2, de la Ley 6/2001 en su redacción dada por la Ley 13/2005 de 30 de diciembre.

²⁹ Ley 10/2012 de 27 de diciembre de Medidas Fiscales y Administrativas de la Comunidad Autónoma de Aragón (Boletín Oficial de Aragón, num. 253 de 31-12-2012)

³⁰ Disposición Derogatoria única, apartado 2.b, y Disposición Transitoria primera, apartado 1, de la Ley 10/2012 de 27 de diciembre de Medidas Fiscales y Administrativas de la Comunidad Autónoma de Aragón.

Algunos ayuntamientos llevan cobrando el canon a sus vecinos conjuntamente en el recibo por tasa de suministro de agua³¹, otros en cambio pese a la reclamación efectuada por el Instituto Aragonés del Agua siguen sin cobrarlo, casos de Bielsa y Plan en Sobrarbe. Otros, como el Ayuntamiento de Jaca, solicitaron el pasado mes de Febrero³² al Gobierno de Aragón cambios en la reglamentación del canon de saneamiento en el sentido de añadir una exención más a las previstas para aquellos casos en los que *“la no terminación de las obras en el plazo establecido en el contrato de adjudicación se asimilará a la no licitación”*.

Esta situación comporta una vulneración del principio de “quien contamina paga” recogido en la Directiva Marco de Agua, en el sentido de que diferentes municipios de la Comunidad Autónoma de Aragón están recibiendo un trato desigual: mientras unos están obligados al pago, otros no y por lo tanto en palabras de La Calle (2013): *“nadie puede ser obligado a asumir cargas inherentes a la eliminación de una contaminación a la que no haya contribuido”*

Situación bien distinta se daría si el servicio prestado de saneamiento y depuración de aguas residuales, de competencia municipal contemplado en la legislación de Régimen Local, se llevara a cabo de forma directa por los Ayuntamientos aplicando una tasa por la prestación de los mismos.

Los precios a aplicar por la prestación de esos servicios se encuentran actualmente regulados en el artículo 2.2.a) de la Ley 58/2003, de 17 de diciembre, General Tributaria, donde en coordinación con el artículo 6 de la Ley 8/1989, de 13 de abril, de Tasas y Precios Públicos, y 7.1 de la Ley Orgánica 8/1980, de 22 de septiembre, de Financiación de las Comunidades Autónomas, se define ese tributo al establecer: *“Tasas son tributos cuyo hecho imponible consiste en la utilización privativa o aprovechamiento especial del dominio público, en la prestación de servicios o en la realización de actividades en régimen de derecho público que se refieran, afecten o beneficien de modo particular al obligado tributario cuando los servicios no sean de solicitud o recepción voluntaria por los obligados tributarios o se presten o realicen por el sector privado”*.

Como destaca la doctrina, para el legislador español, la tasa se distingue, pues, por el aspecto material del elemento objetivo del hecho imponible. El aspecto material del elemento objetivo del hecho imponible de la tasa debe estar constituido:

- a) por la utilización privativa o el aprovechamiento especial del dominio público; o,
- b) por la prestación de servicios o en la realización de actividades en régimen de derecho público que se refieran, afecten o beneficien de modo particular al obligado tributario.

³¹ Disposición Adicional Quinta de Ley 6/2001 de Ordenación y Participación del Agua en Aragón. Determinación de la tarifa del canon de saneamiento: De conformidad con lo establecido en el artículo 58 de esta Ley se establece la siguiente tarifa en el canon de saneamiento: a) Usos domésticos: - Componente fijo: 1,90 euros por sujeto pasivo y mes, - Tipo aplicable por volumen de agua: 0,23 euros por metro cúbico. b) Usos industriales: - Componente fijo: 7,57 euros por sujeto pasivo y mes, - Tipo aplicable por carga contaminante: 0,23 euros por metro cúbico por el coeficiente corrector determinado reglamentariamente.

³² Acuerdo del Pleno Municipal de Jaca en sesión ordinaria de fecha 20 de febrero de 2013.

En todo caso ha de considerarse que es preciso que tal prestación o realización de actividades en régimen de derecho público reúna dos circunstancias determinantes para que nos hallemos ante el hecho imponible de la tasa:

1.- Que los servicios o actividades no sean de solicitud voluntaria para los obligados tributarios; a cuyos efectos no se considerará voluntaria la solicitud por parte de los administrados en estos supuestos, de conformidad con los artículos 6 de la Ley de Tasas y precios Público y 7.1 de la Ley Orgánica de Financiación de las Comunidades Autónomas:

- Cuando venga impuesta por disposiciones legales o reglamentarias y,
- Cuando los bienes, servicios o actividades requeridos sean imprescindibles para la vida privada o social del solicitante;

2.- Y que no se presten o realicen por el sector privado, esté o no establecida su reserva a favor del sector público conforme a la normativa vigente.

En el caso que nos ocupa, dadas las características de los servicios de saneamiento y depuración prestados, se considerarían cumplidos todos los requisitos antes expuestos que exigirían la imposición de una tasa y no cualquier otro tipo de tarifa de naturaleza pública o privada, independientemente de la fórmula de gestión que los ayuntamiento pretendieran adoptar y que se han detallado en este estudio, teniendo en cuenta que la fijación de la misma deberá observar el cumplimiento de los siguientes principios:

- a) Principio de equivalencia, consistente en que las tasas deben tender a cubrir el coste del servicio o de la actividad que constituya su hecho imponible.
- b) Principio de capacidad económica, consistente en que, al fijar las tasas, ha de tenerse en cuenta la capacidad económica de las personas que deben satisfacerlas, en cuanto lo permitan las características del tributo (sin que ello suponga exenciones o bonificaciones³³).

De esta forma los ayuntamientos podrán adecuar el precio de la tasa a los costes reales del servicio de manera que el importe de la tasa no exceda del coste real o previsible del servicio, debiéndose tener en cuenta para la determinación de dicho coste las siguientes particularidades:

- a) Para la determinación del coste real o previsible se tomarán en consideración los gastos directos o indirectos, que contribuyan a la formación del coste, incluso los de carácter financiero, los de amortización del inmovilizado y los gastos generales que sean de aplicación, con independencia del presupuesto con cargo al cual se satisfagan dichos gastos, o del organismo que los soporte.
- b) Cuando las tasas tengan por objeto financiar total o parcialmente nuevos servicios, los acuerdos de establecimiento de las tasas deberán adoptarse a la vista de informes técnico-económicos, en los que se ponga de manifiesto la previsible cobertura del coste de dichos servicios.

³³ Con las siguientes excepciones: Art. 18 de la Ley 8/1989 de 13 de abril de Tasas y Precios Públicos “Sin perjuicio de lo previsto en el artículo 8, no se admitirá, en materia de tasas, beneficio tributario alguno, salvo a favor del Estado y los demás entes públicos territoriales o institucionales o como consecuencia de lo establecido en los tratados o acuerdos internacionales”

Pese a que la tasa va íntimamente ligada al principio de “suficiencia financiera” de las haciendas locales, es decir a la suficiencia de medios financieros para poder ejercer las funciones que legalmente le han sido encomendadas, también es cierto que, como hemos visto en los párrafos anteriores, prima el principio de equivalencia (las tasas tenderán a cubrir el coste del servicio o de la actividad que constituya su hecho imponible) y ello nos hace pensar en un concepto de “tarifa suficiente” a diferencia del concepto de impuesto que según jurisprudencia del Tribunal Supremo: *“es un tributo apto para la satisfacción de necesidades públicas indefinidas”* no así la tasa que queda *“vinculada al mantenimiento de un servicio público concreto y bien determinado”*³⁴. En este sentido la propia jurisprudencia sigue siendo muy clara al respecto del cobro de la tasa (en este caso por alcantarillado) y determina que *“por el contrario no puede devengarse la tasa si el ciudadano no utiliza para sus vertidos la red municipal de alcantarillado, sino unas instalaciones propias por él construidas”*³⁵. Es decir, existe una clara vinculación entre la utilización del servicio y el cobro de la tasa.

No sucede lo mismo cuando abordamos el concepto del canon de saneamiento y concretamente si analizamos lo recogido en la Revisión del Plan de Saneamiento (2009) en lo que a “Escenarios de financiación” se refiere al abordar el tema de la evolución del canon de saneamiento. Para ello fija 4 escenarios vinculados a los cuadros de financiación del Plan:

- a) Escenario 1. Previsión de Balance Económico 2008-2014. No supone la necesidad de incremento adicional de canon de saneamiento.
- b) Escenario 2. Previsión de Balance Económico 2015-2021. Déficit cero. Este escenario garantiza la estabilidad financiera del modelo generando los recursos necesarios para la recuperación de costes. La estructura del canon de saneamiento se emplea como instrumento para cerrar las brechas de financiación intertemporal y por lo tanto se requerirán las siguientes variables: requeriría un incremento en el ejercicio 2015 del 33% y posteriormente disminuciones del 12% y 11% respectivamente en 2025 y 2030.
- c) Escenario 3. Previsión de Balance Económico 2022-2028. Recuperación de costes- Incremento gradual del canon de saneamiento a partir de 2012. La estructura del canon de saneamiento requeriría un incremento del 1% anual sobre el índice de precios previsto a partir del ejercicio 2012.
- d) Escenario 4. Previsión de Balance Económico 2029-2035. Recuperación de costes- Incremento gradual del canon de saneamiento a partir de 2016. La estructura del canon de saneamiento requeriría un incremento del 1,9 % anual sobre el índice de precios previsto a partir del ejercicio 2016.

En la situación actual de paralización en la ejecución del Plan de Saneamiento, cobro discriminatorio del canon, y previsión de incremento del mismo y en un contexto de recesión económica, observar las tendencias alcistas del impuesto y comprobar por otro lado que el Plan se ha colapsado financieramente, invita a reflexionar sobre si la figura del canon -llamado solidario- lo es como tal o por el contrario supone agravar más al contribuyente sin obtener, en este caso, un servicio a cambio. Filosofía ésta última que subyace en el concepto de tasa por prestación de servicio público.

³⁴ STS de 18 octubre 1994, FJ 5º

³⁵ STSJ de Murcia de 4 septiembre de 1995.

2.1.10. Rechazo social. Aparición de movimientos ciudadanos

En este contexto muchas han sido las iniciativas sociales surgidas en torno al debate de la privatización de los servicios de agua y saneamiento. Reseñamos algunas que se han puesto en marcha a lo largo de este último año: desde las globales a las más locales.

- Iniciativa Ciudadana Europea por el Derecho Humano al Agua y al Saneamiento – European Citizens Initiative (ECI). Por primera vez se usa esta herramienta de democracia participativa que entró en vigor en la Unión Europea el 1 de abril de 2012. Consiste en que los ciudadanos incorporen en la agenda política europea un determinado tema, previa recogida de un millón de firmas en al menos 7 Estados miembros de la UE. La FSESP -Federación Sindical Europea de Servicios Públicos- (más de 8 millones de trabajadores del sector público, en 275 sindicatos en Europa), lanzó esta iniciativa con la participación directa de una amplísima red de asociaciones, movimientos y colectivos ciudadanos, que en cada país se organizó de forma específica; en España fue la Red Agua Pública – RAP la que impulsó la recogida de firmas.

La Iniciativa promovía que:

- 1) por obligación, las instituciones comunitarias y los Estados miembros velen por que todos los ciudadanos puedan ejercer el derecho al agua y el saneamiento;
- 2) el abastecimiento de agua y gestión de recursos hídricos no se rijan por “las normas del mercado interior” y se excluyan los servicios de agua del ámbito de la liberalización
- 3) la UE redoble esfuerzos para lograr el acceso universal al agua y el saneamiento

Entre el 10 y el 23 de septiembre se presentaron cerca de 1,9 millones de firmas³⁶ (1.857.665 firmas), lo que constituye el primer éxito de la Iniciativa Ciudadana Europea: “El agua es un derecho humano”. Mediante estas firmas se reclamaba a la Comisión Europea “la aplicación dentro de la legislación europea del derecho humano al agua y el saneamiento”. El siguiente paso de esta campaña es continuar presionando al Parlamento Europeo, la Comisión Europea y el Consejo de la Unión Europea y concretamente, como acción a corto plazo, la audiencia que se celebrará en el Parlamento Europeo, donde explicarán las propuestas. La fecha está prevista para enero o febrero de 2014.

- Red Agua Pública. La Red estatal Agua Pública (RAP)³⁷ es un espacio que aglutina a diferentes movimientos sociales, instituciones y personas que promueven una visión del agua como bien común y servicio público. Sus propósitos:

- 1) Defender el ciclo integral del agua como bien público, gestionado al 100% desde el sector público, evitando su mercantilización y su conversión en objeto de lucro y de especulación, así como denunciar cuantas actividades vayan encaminadas a la privatización total o parcial de la gestión del ciclo integral del agua y de los servicios de agua y saneamiento.

³⁶ Información extraída de la página web de la iniciativa: <http://www.right2water.eu/es/node/444>

³⁷ Información extraída de la página web: <http://redaguapublica.wordpress.com/about/>

- 2) Apoyar las luchas que se están desarrollando en el Estado español contra la privatización de los servicios del agua y por la remunicipalización de los ya privatizados, analizando sus elementos comunes para establecer estrategias estatales contra dicha privatización.
- 3) Ayudar a implantar nuevos modelos de gestión pública del agua que combinen la calidad y eficiencia del servicio, con la transparencia y la participación ciudadana.
- 4) Coordinar los esfuerzos que se están realizando en nuestro país con el movimiento internacional contra la privatización de abastecimiento y saneamiento y por la consecución efectiva del derecho humano al agua.

- Esta red cuenta con adhesiones de movimientos, organizaciones y colectivos sociales, entre ellos otras “Redes de Agua Pública” de toda España. En el caso de Aragón, el pasado 23 de Enero se constituyó en Asamblea Ciudadana la “Red Agua Pública de Aragón”. .”

- La Red Agua Pública de Aragón (RAPA) es el resultado, entre otras cosas, del “*Foro de debate: la depuración del Agua en Aragón*” que tuvo lugar durante el otoño del 2012 en sucesivas sesiones públicas en Zaragoza, Aínsa y Fabara, convocado por la Fundación Nueva Cultura del Agua, la Asociación Naturalista de Aragón, la Federación de Barrios de Zaragoza, CCOO, UGT, COAGRET (Coordinadora de Afectados por Grandes Presas y Trasvases), Ecologistas en Acción, Ingenieros sin Fronteras, Fundación Ecología y Desarrollo y Unión de Consumidores y Usuarios de Aragón. El foro pretendió ser un espacio de encuentro entre el mundo científico, los responsables técnicos y políticos y los movimientos sociales con el fin de debatir en términos operativos y económicos la viabilidad de las depuradoras alternativas (por métodos extensivos) frente a las convencionales proyectadas por el Gobierno de Aragón, analizando los costes de funcionamiento y gestión así como la eficacia de las mismas y la calidad de la depuración. Las conclusiones, disponibles en la página web de la Fundación Nueva Cultura del Agua³⁸, corroboran la inviabilidad financiera del Plan de Saneamiento por el sobredimensionamiento de las depuradoras y por la falta de adecuación de las tecnologías usadas a la dimensión de las poblaciones al desprenderse, hasta ahora, opciones de depuración biológica mucho más baratas y eficaces. Y se solicita: “*Mirando hacia el futuro de forma constructiva, debe iniciarse una profunda revisión del Plan de Saneamiento, abierta a la participación ciudadana, que permita redimensionar las infraestructuras y abrir el abanico de opciones de depuración biológica, como la de Fabara, para núcleos pequeños de población, dado que se demuestran eficaces y eficientes, al suponer costes muy inferiores*”.

Las conclusiones de dicho Foro junto con los principios constituyentes de la RAPA fueron motivo de análisis y reflexión en las reuniones semanales que la Red ha mantenido y mantiene en Zaragoza, planteando acciones conjuntas para la defensa de los mismos. En concreto y con el pretexto de los diversos actos de movilización europea para el día 22 de marzo (Día Mundial del Agua), la Red organizó la primera “Marea Azul de indignación contra la privatización del Agua” que tuvo lugar el 23 de marzo y que discurrió como una “riada de más de dos mil metros cuadrados de telas azules” por

³⁸ <http://www.fnca.eu/index.php/component/content/article/40-frontpage/305-foro-debate-qla-depuracion-del-agua-en-aragonq>

las calles de Zaragoza con la lectura de un manifiesto. Ese acto público contó con la presencia de alcaldes y concejales de municipios rurales de Aragón que con anterioridad habían sido convocados por la RAPA en Huesca a una Asamblea Rural para la “Defensa de autonomía municipal y contra la privatización del agua”. Esta Asamblea que tuvo lugar el día 9 de marzo contó con la asistencia del Presidente de ADELPA, la Asociación de Entidades Locales del Pirineo Aragonés constituida en 1996 que aglutina a 107 ayuntamientos, 2 mancomunidades y 4 comarcas. Esta Asociación que tiene como finalidad proteger y promover los intereses comunes de las entidades locales asociadas promovió a principios del 2012 la solicitud al Gobierno y a las Cortes de Aragón de una modificación legal que eximiera del pago del canon mientras las depuradoras no se encontraran en funcionamiento, en los casos en que hubiera transcurrido más de dos años desde la licitación de las obras (caso de los municipios de las cuatro comarcas pirenaicas). Además, a lo largo de este año han mantenido una serie de reuniones para exigir el replanteo de todo el Plan Pirineos y han instado a los ayuntamientos a que dejen de pagar el canon. A finales de este próximo mes de noviembre, coincidiendo con la Asamblea Ordinaria de ADELPA, y si no se ha logrado un acuerdo *“además, elevarán una queja a Europa”*³⁹.

2.1.11. Horizonte 2015 DMA y contradicciones con la legislación europea

La Directiva Marco del Agua (DMA) establece la obligación de los estados miembros de la Unión Europea de conseguir el buen estado ecológico de sus aguas para el año 2015, esto es, la protección y mejora de las masas de agua superficiales y subterráneas y de sus ecosistemas asociados, la reducción progresiva de la contaminación y garantizar el suministro suficiente de agua superficial o subterránea en buen estado y paliar los efectos de sequías e inundaciones.

La DMA establece numerosas tareas y actividades, siendo su principal eje de implantación la realización de los Planes de cuenca. Estos planes deben identificar las masas de agua donde no se alcanza los objetivos, o se encuentran en riesgo, determinar las presiones generadoras de esos impactos y establecer las medidas adecuadas para la consecución de los objetivos propuestos en el año 2015.

Para ello la Directiva 91/271/CEE sobre el tratamiento de las aguas residuales estableció una serie de requerimientos mínimos para la su recogida y tratamiento, en función del tamaño de la aglomeración y de las características de la zona de vertido.

En la actualidad, y pese a no poder encontrar información en la página web del Instituto Aragonés del Agua sistematizada y actualizada respecto al grado de cumplimiento de los objetivos concretos de la Directiva de aguas residuales, podemos deducir que en la zona pirenaica, dada la inexistencia de estaciones o sistemas de depuración en muchos de sus núcleos no se están cumpliendo los requerimientos recogidos en la norma comunitaria y ello provocaría la imposición de una sanción económica por parte de la Unión Europea. En este sentido España ya cuenta con algunos procedimientos sancionadores, el último del año 2011 debido a que 38 ciudades

³⁹ Heraldo de Aragón. 10 octubre 2013. “Adelpa insiste en dejar de pagar el canon de saneamiento hasta que acaben las obras”.

de más de quince mil habitantes equivalentes no depuraban correctamente⁴⁰. Una sanción que en palabras del propio Ministro de Medio Ambiente “*oscilaría entre los 20 y los 50 millones al año en concepto de “multa coercitiva” y entre dos y cinco como “suma a tanto alzado” que se paga una sola vez*”⁴¹.

2.2. DIAGNÓSTICO ECONÓMICO

2.2.1. **Análisis crítico de la viabilidad de las EDAR convencionales proyectadas en el Pirineo**

2.2.1.1. *Introducción*

En el presente epígrafe se entiende por “análisis crítico” una exposición y revisión de los principales datos, argumentos y puntos de vista en torno a la viabilidad económico-financiera de la política de depuración de aguas residuales en la Comunidad Autónoma de Aragón, a la luz de los hechos.

Comenzamos realizando un examen económico de la depuración proyectada en el Pirineo, analizando los Estudios de Viabilidad de las Depuradoras proyectadas en el Pirineo (en adelante EVDP). Estos estudios fueron encargados por el Gobierno de Aragón a Sodemasa y publicados en 2008. En dichos estudios se analiza la “sostenibilidad técnica, ambiental y económico-financiera” de las obras proyectadas en el Pirineo y de su gestión. Aunque se trata de cuatro estudios, haremos referencia a los EVDP en general, ya que son idénticos exceptuando los detalles cuantitativos propios de cada zona (monto de las inversiones, tarifas a aplicar, etc.). Cuando la exposición lo requiera se hará referencia explícita de a qué zona en concreto se refieren los datos.

Nos basaremos también en el análisis financiero y en las alegaciones a los EVDP que realizó Esteban Utrillas, V. (2008), desde el equipo económico de CC.OO., que nos permitirán identificar los principales errores cometidos a la hora de proyectar el saneamiento en el Pirineo y justificar pretendidamente su viabilidad financiera.

Tal y como ya se ha explicado, la situación general⁴² de la política de saneamiento en Aragón, es de fracaso, y muy particularmente en el Pirineo. De hecho, no se han cumplido los objetivos del Plan de Saneamiento y Depuración de Aragón (que se encuentra en revisión por parte de las autoridades⁴³), ni se está cumpliendo la normativa europea. Desvelar las claves económicas del fracaso de este Plan nos ayudará a diseñar un modelo alternativo, cuya viabilidad económica contrastaremos.

⁴⁰ Sentencia del Tribunal de Justicia, Sala Octava, de 14 de abril de 2011, Comisión contra España, C-343/10.

⁴¹ EL PAÍS. 26-02-2012. “Arias Cañete asume que Bruselas multará a España por depurar mal”.

⁴² A diciembre de 2013.

⁴³ “Lobón contempla un “plan b” para el Plan Pirineos de Depuración reduciendo de 297 a 29 las depuradoras”

(<http://www.heraldo.es/noticias/aragon/2013/10/08/lobon+quot+plan+impulso+creara+mantendran+entre+500+700+empleos+agricultura+quot+252201+300.html>)

Así con este análisis pretendemos dar una herramienta de ayuda a la toma de decisiones de los pueblos del Pirineo en materia de depuración, aclarando los múltiples y a menudo confusos datos, normativas, y estudios que existen sobre la materia.

2.2.1.2. *Análisis económico de los EVDP*

Los principales elementos que inciden sobre este análisis económico-financiero son:

El modelo concesionario

Aunque no se justifica en los EVDP, se asume que el modelo contractual de concesión de obra pública para la colaboración de la iniciativa privada es el adecuado para “maximizar la eficiencia presupuestaria al tiempo que se transfieran de forma adecuada riesgos a la iniciativa privada y se evite la contabilización de la deuda asociada a la nueva infraestructura a efectos de déficit y endeudamiento público, de conformidad con los criterios y normas del Sistema Europeo de Cuentas (SEC 95) y de la oficina estadística de la Unión Europea (Eurostat)”.

Asimismo, “la transferencia de riesgos y responsabilidades a la iniciativa privada, debe compensar el mayor coste asociado a la remuneración de los capitales invertidos por éstos y los fondos aportados por las entidades financieras y/o prestamistas para financiar la infraestructura.”

En resumen, el modelo empleado de colaboración público-privada se presupone, sin argumentarse, que es más eficiente, mejora la gestión y contribuye a la “necesaria austeridad” de la Administración. Sin embargo, por otro lado se reconoce que este modelo conlleva un mayor coste para la ciudadanía en términos de retribución al sector privado (promotores, entidades financieras y/o prestamistas). Las razones de este mayor coste se explicarán más adelante cuando se explique el modelo financiero adoptado.

El dimensionamiento de la demanda

En los EVDP se prevé que, en función del análisis de muestras y medidas de caudales de retorno, y de estudios de población de los municipios, se determinan los caudales que dimensionan el diseño para cada EDAR. Sin embargo, las medidas empíricas cuantitativas y cualitativas de esos retornos jamás se realizarían, pasándose a diseñar desde un modelo teórico basado en los “habitantes equivalentes de diseño”.

A su vez, dado que estos caudales de diseño miden el caudal que se espera depurar en el futuro, sirven de base para el cálculo de los flujos monetarios y las tarifas del sistema de retribución concesional. Este hecho es muy importante en la medida que el equilibrio económico (costes e ingresos) dependerá esencialmente de ese caudal esperado.

La distribución riesgos

La tabla 5 reproduce el esquema de asignación de riesgos contemplado en los EVDP; previsión que queda explicitada en los pliegos de concesión de obra pública.

Tabla 5. Esquema de asignación de riesgos de los proyectos. Fuente: Sodemasa, Gobierno de Aragón (2008).

RIESGO	ASIGNACIÓN	
Fase de construcción	Concesionario	Gobierno de Aragón
Riesgo de costes de expropiación terrenos	X	
Riesgo financiación de la construcción	X	
Riesgos técnicos en la ejecución de la construcción	X	
Riesgo por la naturaleza y estructura del terreno de ejecución de obras	X	
Riesgo por errores de medición o redacción de proyectos constructivos	X	
Riesgo de costes de construcción de la obra	X	
Riesgo medioambiental	X	
Retrasos-incumplimiento por concesionario	X	
Fuerza mayor		X
Modificaciones por la Administración		X
Retrasos-incumplimiento Administración		X
Fase de explotación	Concesionario	Gobierno de Aragón
Riesgo de demanda	X	
Riesgo de disponibilidad	X	
Riesgos de sobrecostes de explotación	X	
Riesgos sobrecostes inversión - reposición	X	
Riesgo incumplimiento parámetros vertido	X	
Riesgos mantenimiento-conservación de obras ejecutadas	X	
Incumplimientos por concesionario	X	
Fuerza mayor		X
Modificaciones explotación por Administración interés público		X
Incumplimientos por Administración		X

Según el SEC-95, deben recaer sobre el concesionario el riesgo de construcción, así como el de demanda o el de disponibilidad, de forma que el importe de la inversión en infraestructuras no compute como deuda de la Administración, con los correspondientes riesgos en inversión y gestión a cargo del concesionario.

Así, el modelo concesional se configura para que los riesgos mencionados recaigan exclusivamente sobre el concesionario, de la siguiente manera:

- Riesgo de demanda: Se fijará una retribución que dependerá del volumen de agua efectivamente depurada, siendo cero para un volumen depurado nulo. Se implantarán dos tramos de caudal, con tarifas distintas. Para el primer tramo, el caudal correspondiente será el esperado menos un coeficiente reductor del 25%, y con la tarifa correspondiente a dicho caudal se espera cubrir los costes fijos y los de amortización. Aplicando la tarifa del segundo tramo al caudal esperado, se satisfaría la rentabilidad esperada en los EVDP.

- Riesgo de disponibilidad: Para evitar cualquier discrecionalidad en el servicio se prevén penalizaciones al concesionario en caso de que incumpla los estándares mínimos del servicio.
- Riesgo de construcción: Para ello, el riesgo de un mayor coste de la inversión sobre la presupuestada recaerá sobre el concesionario. Además la retribución al mismo queda condicionada por la finalización de obras y su puesta en marcha.

Parámetros económicos de los proyectos

Las magnitudes económicas que se reflejan en los EVDP se consideran “estimaciones conservadoras”, de manera que los costes de construcción y explotación reales serán normalmente menores, según los EVDP.

Reproducimos a continuación los principales resultados de las variables económicas del proyecto definidas para las zonas P1 (La Jacetania), P2 (Alto Gállego), P3 (Sobrarbe) y P4 (Ribagorza).

COSTES ESTIMADOS DE INVERSIÓN

Tabla 6. Costes estimados de inversión para las zonas P1 (La Jacetania), P2 (Alto Gállego), P3 (Sobrarbe) y P4 (Ribagorza). Fuente: elaboración propia a partir de (Sodemasa, Gobierno de Aragón, 2008).

	ZONA P1	ZONA P2	ZONA P3	ZONA P4
Inmovilizado Material	32.959.809 €	29.979.119 €	29.979.119 €	22.493.453
Inmovilizado Inmaterial	2.237.305 €	1.918.270 €	1.918.270 €	1.524.259 €
Total	35.197.114 €	31.897.389 €	31.897.389 €	24.017.712 €

Cabe notar que los números de las zonas P2 y P3 son idénticos, tal como aparece en los EVDP.

El inmovilizado material “está constituido por elementos patrimoniales tangibles, muebles o inmuebles. Se trata, por tanto, de bienes que se utilizan en la actividad permanente y productiva de la empresa, tienen por lo general una vida útil predeterminada, que trasciende la duración de un ejercicio económico, condicionada por el desgaste y la evolución tecnológica y que no están destinados a la venta” (AECA).

A su vez, “las empresas también cuentan con bienes permanentes de naturaleza intangible, que son objeto de valoración económica” (AECA). Este es el caso, por ejemplo, de las concesiones administrativas y de las aplicaciones informáticas.

Para tener una idea del peso relativo de las distintas partidas de la inversión pasamos a desglosar los distintos elementos que componen la inversión en la Zona P1, y su porcentaje aproximado sobre el total invertido (inmovilizado material + inmaterial).

En la zona P1, el inmovilizado material supone el 93’64% del total de la inversión en inmovilizado, y se distribuye de la siguiente manera:

- Terrenos (expropiaciones): 2’76%
- Construcción de edificios: 37’9%
- Construcción de caminos, servicios y otros: 27’8%
- Instalaciones técnicas: 25%

- Maquinaria: 0%
- Informática: 0'01%
- Elementos de transporte: 0'11%

Y en cuanto al inmovilizado inmaterial, éste se corresponde con un 6'36% de la inversión total, y se distribuye así:

- Concesiones administrativas: 6'35%
- Aplicaciones informáticas: 0'01%

De esta manera se observa que los costes más importantes de la inversión total se corresponden con el capítulo de construcciones, que alcanzan un 65'7% de la inversión, seguidas por las instalaciones técnicas que representan un 25% del total.

COSTES ESTIMADOS DE EXPLOTACIÓN (AÑO BASE 2008)

Tabla 7. Costes estimados de explotación para las zonas P1 (La Jacetania), P2 (Alto Gállego), P3 (Sobrarbe) y P4 (Ribagorza). Fuente: elaboración propia a partir de (Sodemasa, Gobierno de Aragón, 2008).

	ZONA P1	ZONA P2	ZONA P3	ZONA P4
Costes Fijos	877.867 €	908.688 €	692.273 €	608.268 €
Costes Variables	360.765 €	447.636 €	169.830 €	153.018 €
Total	1.238.632 €	1.356.324 €	862.103 €	761.286 €

La diferencia entre costes fijos y variables se da en relación a la producción. Así, los costes fijos son independientes del nivel de producción, lo cual quiere decir que deben afrontarse tanto si las instalaciones funcionan a plena capacidad, como si no funcionan. En cambio, los costes variables son función del volumen de producción, de manera que son nulos para una producción nula, y crecen si crece la producción. Al igual que antes, desglosaremos estos costes en la zona P1 para tener una idea de la su composición relativa.

En esta zona, los **costes fijos**, que suponen casi un 71% de los costes de explotación, quedan distribuidos así:

- Personal: 30%
- Mantenimiento: 15%
- Energía eléctrica (término de potencia): 1'5%
- Gastos administrativos y varios: 8%
- Gastos generales: 16%

Por otro lado, los **costes variables**, que suponen casi un 30% de los costes de explotación, se distribuyen como sigue:

- Energía eléctrica (Término de energía): 20%
- Consumo de reactivos: 7%
- Evacuación de residuos (costes de transporte y tratamiento): 2%

Por lo tanto, los costes de explotación más importantes son personal (30%), mantenimiento (15%), gastos “generales” (16%) y energía eléctrica (20%).

PLAN DE FINANCIACIÓN PREVISTO

Tabla 8. Plan de financiación previsto para las zonas P1 (La Jacetania), P2 (Alto Gállego), P3 (Sobrarbe) y P4 (Ribagorza). Fuente: elaboración propia a partir de (Sodemasa, Gobierno de Aragón, 2008).

FUENTE DE FINANCIACIÓN	ZONA P1	ZONA P2	ZONA P3	ZONA P4
Fondos Propios	6.583.062 € (17'8%)	5.986.924 € (17'8%)	6.138.758 € (17'8%)	4.489.791 € (17'5%)
Deuda Senior	30.369.007 € (82'2%)	27.647.201 € (82'2%)	28.412.297 € (82'2%)	21.200.876 € (82'5%)
TOTAL	36.945.069 €	33.634.125 €	34.551.055 €	25.690.066 €

Toda actividad empresarial se desarrolla contablemente desde la referencia de los conceptos de activo y pasivo. El activo de una empresa son los bienes y servicios (tangibles o intangibles), con capacidades funcionales y operativas, propiedad de la empresa, que le permiten realizar su actividad. El pasivo de una empresa es el conjunto de deudas que tiene. Mientras el activo comprende los bienes y derechos financieros de la empresa, el pasivo recoge sus obligaciones.

Este cuadro, relativo a las fuentes de financiación hace referencia al pasivo, y en él podemos apreciar que se divide en *fondos propios* (que no llegan al 18%) y *deuda senior*⁴⁴ (en torno a un 82%).

Esto quiere decir que la empresa se financiaría con las aportaciones de sus accionistas en un 18%, mientras que el 82% restante procedería de préstamos bancarios. Más adelante incidiremos en esta cuestión.

ESTRUCTURA TARIFARIA

Apoyándonos, además de en los EVDP, en el pliego de concesión de la zona P1 (IAA, 2008), la estructura tarifaria viene definida de la siguiente manera:

Cada zona se divide en “nidos” de depuradoras que son unidades de gestión. Estos nidos se componen de una depuradora principal, y otras más pequeñas, y es a través de las depuradoras principales (y de sus contadores de caudal) que se aplican las tarifas que permitan recuperar los costes de todo el nido. A partir de estas tarifas resultantes de los nidos de cada zona, se calcula una media, o “centro de gravedad de las tarifas”.

Tabla 9. Estructura tarifaria para las zonas P1 (La Jacetania), P2 (Alto Gállego), P3 (Sobrarbe) y P4 (Ribagorza). Fuente: elaboración propia a partir de (Sodemasa, Gobierno de Aragón, 2008).

	ZONA P1	ZONA P2	ZONA P3	ZONA P4
Centro de gravedad de las tarifas	1,1750 €/m ³	1,5383 €/m ³	1,5568 €/m ³	1,5361 €/m ³

⁴⁴ El término *deuda senior* se refiere a la deuda que tiene la mayor prioridad en caso de bancarrota.

Cada tarifa (centro de gravedad de las tarifas) es única para su zona. Es decir, a todos los núcleos de población de una determinada zona, se les aplica la misma tarifa, calculada en función del caudal esperado a depurar de la zona. Por ejemplo, en la Zona P1 el centro de gravedad de la tarifa sería 1'1750 €/m3.

No obstante, como se expone en el dictamen jurídico de La Calle Marcos (2013) y en el presente trabajo, es de notar que este hecho puede ser causa de violación de la normativa comunitaria al incumplir del principio de “quien contamina paga”.

2.2.1.3. *Plan económico-financiero y proyecciones de los EVDP*

Según los propios EVDP (Sodemasa; Gobierno de Aragón, 2008), el Plan de Depuración en el Pirineo implica:

- Un elevado endeudamiento, a largo plazo.
- Deuda sin recurso sobre los promotores del proyecto: la sociedad concesionaria será una sociedad “vehículo” mercantil creada ad hoc, con personalidad jurídica independiente a la de los promotores, los cuales verán limitado su riesgo financiero a su aportación a los recursos propios de la sociedad.
- La principal garantía para los financiadores del repago y retribución de los fondos aportados será el flujo de efectivo generado por el proyecto.
- La financiación, que es a *riesgo-proyecto* (se financian proyectos, no empresas), resulta compatible con la asignación de riesgos al sector privado, con el objetivo de que la deuda asociada a las infraestructuras no compute como deuda de la Administración (de acuerdo con los criterios del SEC-95).

Las implicaciones críticas de este modelo concesional y de financiación se explicarán en el siguiente apartado cuando revisemos la estructura financiera.

En base a este modelo concesional, los siguientes elementos son estimados en los EVDP:

- Cuentas de Resultados Previsionales
- Balances Previsionales
- Flujo de Caja Previsional
- Estudio de Rentabilidad, incluyendo un estudio de sensibilidad de la inversión.

A partir de esas proyecciones⁴⁵ se determinan los pagos a efectuar por la Administración durante el plazo concesional como retribución al concesionario, pagos de los que depende la rentabilidad que pueden esperar los accionistas de la sociedad concesionaria.

En los EVDP se considera un plazo del préstamo (Deuda Senior) de 19 años, desde la fecha de formalización del contrato a un coste del 6'8%. El programa de amortización del principal de la deuda se determina “en función del cumplimiento a lo largo de todo el periodo de explotación de los diferentes ratios⁴⁶ de cobertura del servicio de la deuda (RCS -Ratio de Cobertura del Servicio de la Deuda-, LLCR -Loan Life Coverage Ratio- y PLCR -Project Life Coverage Ratio-), de forma que la

⁴⁵ Se pueden consultar en el **Anexo II**.

⁴⁶ Los ratios son operaciones (divisiones generalmente) que emplean información contable para indicar la sostenibilidad o no de la actividad empresarial.

sociedad concesionaria sea capaz de satisfacer en todo momento los niveles habituales mínimos exigidos por las entidades financieras”.

Los resultados de la proyección económico-financiera de los EVDP concluyen:

- *Una rentabilidad agregada para los accionistas (TIR del capital) del 10,88% (Zona 1), 10,90% (Zona 2), 10,92 (Zona 3) y 10,65% (Zona 4) es un resultado estimado razonable en los términos del riesgo asignado al concesionario, en línea con proyectos de similares características en cuanto a estructura y magnitud de riesgos transferidos a la iniciativa privada desarrollados ya en la Comunidad autónoma.*
- *Con cargo a los mecanismos de retribución establecidos se habrían de recuperar, mediante la gestión adecuada de la construcción y explotación de la infraestructura que se acreditará mediante el grado de aplicación del sistema de deducciones establecido, los costes de la sociedad concesionaria: servicio de la deuda, gastos de explotación y mantenimiento de la infraestructura (incluyendo las inversiones de reposición), gastos generales de la sociedad concesionaria, impuestos y tributos durante el periodo de explotación y otros conceptos de cuantía menor.*
- *La capacidad de la sociedad concesionaria de hacer frente al servicio de la deuda y la recuperación y remuneración de la financiación privada de los accionistas se hallan expuestas al riesgo de demanda y de disponibilidad asociado al mecanismo de pago contingente que caracteriza los coeficientes de retribución.*

Por otro lado, dados los supuestos establecidos, se considera que la sociedad concesionaria tendrá una “elevada solvencia patrimonial”, lo que le permitiría afrontar el riesgo de situaciones de negocio “sensiblemente” peores que la supuesta.

Estos resultados de los EVDP serán sometidos a crítica más adelante, en el apartado correspondiente a las alegaciones que en su momento se presentaron, y en el análisis que realizamos al respecto.

Los EVDP concluyen que:

...dadas las hipótesis de trabajo establecidas y los estudios y análisis en los que se fundamenta el escenario básico del programa económico-financiero, el proyecto de construcción y explotación de las actuaciones en la Zona P1 ofrece unos resultados equilibrados. Esto quiere decir que, con las tarifas calculadas, el modelo concesional para la depuración integral de la Zona P1 del Pirineo Aragonés es sostenible en el tiempo.

Lo mismo se aplica para las otras tres Zonas del Pirineo.

2.2.1.4. *Análisis financiero de los EVDP*

Estructura financiera

El presente apartado se basa fundamentalmente en el estudio de Esteban Utrillas (CCOO, 2008b) en el que se analiza el modelo concesional y el de financiación de las EDAR proyectadas en el Pirineo.

El modelo financiero para desarrollar la Colaboración Público-Privada en la Concesión de Obra Pública es el llamado PFI (Private Financial Initiative), que pasamos explicar.

- **Sobre la Concesión de Obra Pública**

La Ley de Contratos del Sector Público recoge esta figura contractual, mediante la cual se ejecuta por parte de la iniciativa privada una obra de infraestructura, y lleva a cabo su explotación durante un periodo de tiempo determinado. Al final de la concesión se devuelve la infraestructura al sector público.

La remuneración a la empresa concesionaria se realiza a través del cobro de una tasa o peaje a los usuarios, excluida la Administración.

Además, este tipo de concesiones son siempre a “riesgo y ventura” del empresario. Es decir, que corre con los riesgos de la actividad empresarial, como vimos que se suponía en los EVDP.

- **Sobre la Colaboración Público-Privada**

Según el art. 11.1 de la Ley de contratos del Sector Público:

“Son contratos de colaboración entre el sector público y el sector privado aquéllos en que una Administración Pública o una Entidad pública empresarial u organismo similar de las Comunidades Autónomas encarga a una entidad de derecho privado, por un periodo determinado en función de la duración de la amortización de las inversiones o de las fórmulas de financiación que se prevean, la realización de una actuación global e integrada que, además de la financiación de inversiones inmateriales, de obras o de suministros necesarios para el cumplimiento de determinados objetivos de servicio público o relacionados con actuaciones de interés general, comprenda alguna de las siguientes prestaciones:

- a) La construcción, instalación o transformación de obras, equipos, sistemas, y productos o bienes complejos, así como su mantenimiento, actualización o renovación, su explotación o su gestión.*
- b) La gestión integral del mantenimiento de instalaciones complejas.*
- c) La fabricación de bienes y la prestación de servicios que incorporen tecnología específicamente desarrollada con el propósito de aportar soluciones más avanzadas y económicamente más ventajosas que las existentes en el mercado.”*

- **Sobre las formas que tiene la Administración para promover una infraestructura por colaboración Público-Privada**

Existen las siguientes modalidades:

- Diseñar, construir, financiar y transferir (DBFT).
- Construir, operar y transferir (BOT).
- Construir, operar y poseer (BOO).
- Diseñar, construir, financiar y operar (DBFO).

Estas operaciones son las que realiza la empresa privada. En el caso de la depuración en el Pirineo, el modelo seguido ha sido el BOT.

- **Sobre las fórmulas de financiación de la Colaboración Público-Privada**

Pueden ser las siguientes:

- Que, durante el periodo de concesión, sean las propias empresas las que financien con sus recursos la construcción y explotación de la infraestructura.
- Que las empresas emitan empréstitos a lo largo del periodo de concesión.
- Que la financiación sea a través de un PFI (Private Financial Initiative).

- **¿Qué es un PFI?**

Se trata de la obtención de fondos a través de una “sociedad vehículo”, la cual repagará la deuda generada a la entidad financiera con la generación de flujos de caja del propio proyecto. Es decir los ingresos, que son función del caudal esperado a depurar en el caso de los EVDP, son la “garantía” para la devolución de la deuda. A su vez, el equilibrio presupuestario de la Administración dependerá del cobro del canon, con el que pagará a la empresa concesionaria el servicio de depuración. Más adelante se incide sobre estas cuestiones y sus efectos en la actualidad.

Este modelo de financiación suele suponer costes de financiación mayores. El hecho de que la retribución de la sociedad vehículo sea elevada se justifica por los mayores riesgos asumidos por el concesionario; mientras que la mayor retribución a la banca se debe a que financia un proyecto y no a una empresa de manera que su riesgo también es mayor. Por ello, en caso de una hipotética insolvencia, la entidad que financia el proyecto no puede recurrir a la matriz (los promotores), sino a los propios activos del Proyecto.

- **El funcionamiento de un PFI con la Administración**

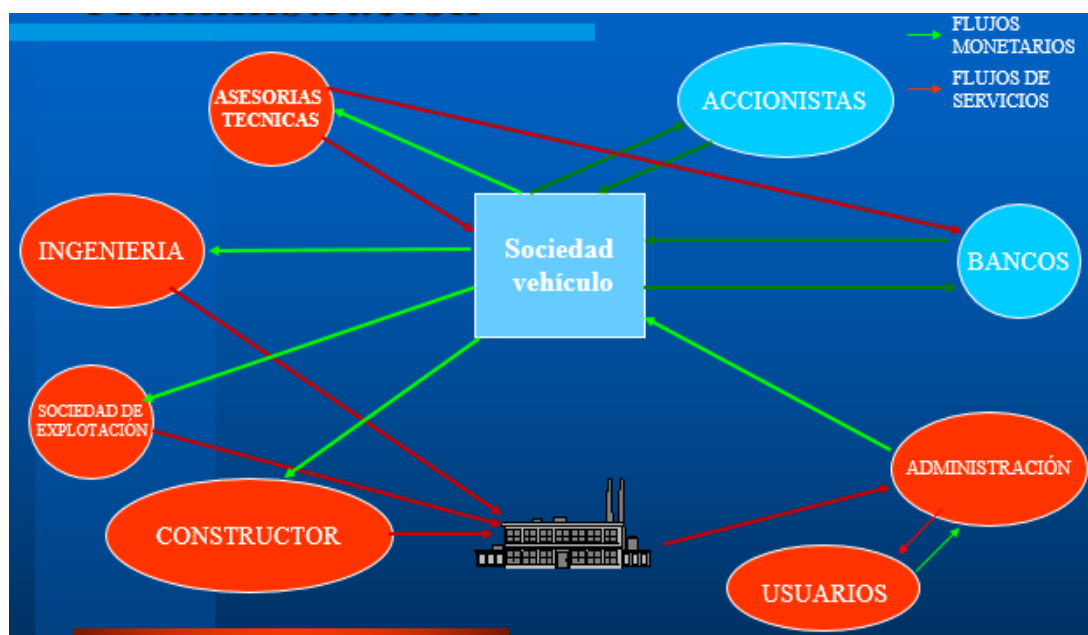


Figura 6. Estructura de un PFI con la Administración. Fuente: Esteban Utrillas, V. (CCOO, 2008b).

Cuando la Administración necesita construir una depuradora, mediante un PFI, en una primera fase se crea una *empresa vehículo* que, a su vez, busca una entidad para financiar la construcción de la obra.



Figura 7. Estructura de un PFI para la construcción de una depuradora (1/3). Fuente: Esteban Utrillas, V. (CCOO, 2008b).

A continuación, la *empresa vehículo* subcontrata la construcción y explotación de la EDAR a otras empresas, que suelen ser de las mismas promotoras, es decir, accionistas de la *sociedad vehículo*.



Figura 8. Estructura de un PFI para la construcción de una depuradora (2/3). Fuente: Esteban Utrillas, V. (CCOO, 2008b).

Finalmente, los usuarios deben pagar a la Administración por el servicio de depuración (canon de saneamiento); y ésta a su vez debe pagar a la *sociedad vehículo* en función del volumen depurado (tarifa). Este flujo de pagos en manos de ésta última deberá cubrir el pago de la deuda a la entidad financiera y repartir beneficios a los accionistas.



Figura 9. Estructura de un PFI para construir una EDAR (3/3). Fuente: Esteban Utrillas, V. (CCOO, 2008b).

- Las ventajas del PFI para los inversores y la banca.

Las ventajas de este modelo financiero para el concesionario y para la banca se pueden resumir en los siguientes puntos:

- Elevada rentabilidad para una inversión limitada, en torno a un 20% del total en el caso del Pirineo.
- Reducido riesgo de inversión, dado que los accionistas sólo responden por el capital aportado (fondos propios de la *sociedad vehículo*; el 20% mencionado).

- Para la banca, el beneficio reside en que el tipo de interés cobrado resulta más elevado que el que podría conseguir con otras fórmulas de financiación. Esto se debe al mayor riesgo que supone financiar “proyectos” y no “empresas”.
- Además, aunque en principio la única garantía del proyecto son los flujos de caja esperados y, en caso de insolvencia, la propia infraestructura de la EDAR, en último término la Administración actúa como avalista final por tratarse de un servicio de interés público imprescindible.

- Claves de la rentabilidad de los PFI

La rentabilidad esperada de este modelo de financiación para los agentes privados involucrados se basa en el *apalancamiento operativo* y en el *apalancamiento financiero*.

- El *apalancamiento operativo*

El grado de *apalancamiento operativo* mide la relación entre el incremento de beneficios y el incremento eventual de actividad. La actividad en este caso viene dada por el volumen depurado.

El *apalancamiento operativo*, en un negocio con una elevada proporción de costes fijos, incentiva el *sobredimensionamiento* de las instalaciones, en la medida en que se esperan que los beneficios crezcan más rápidamente que la actividad.

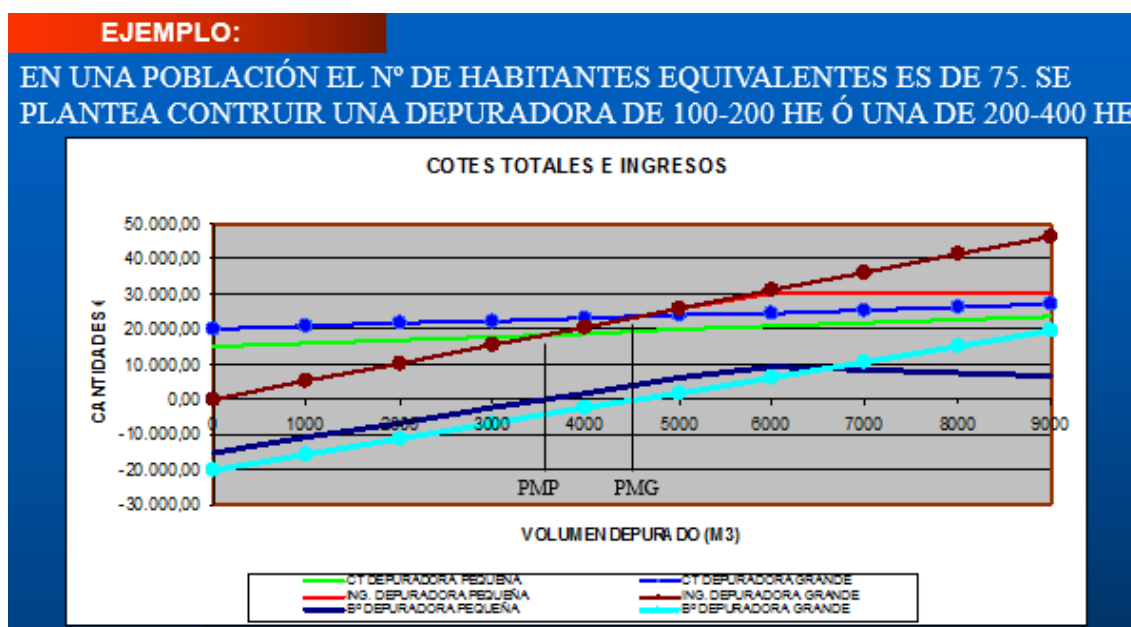


Figura 10. Ejemplo de *apalancamiento operativo* en la construcción una EDAR. Fuente: Esteban Utrillas, V. (CCOO, 2008b).

En el gráfico el punto PMP marca el nivel de actividad en el que se cortan las curvas de costes (línea verde) e ingresos (rojo claro) correspondientes a una depuradora pequeña. A partir de ahí se generan beneficios positivos que crecen muy lentamente

para luego decaer incluso con la actividad (línea azul muy oscuro). El punto PMG marca el nivel de actividad en el que se cortan las curvas de costes (azul intermedio) e ingresos (rojo oscuro) correspondientes a una depuradora grande. A partir de ahí se generan beneficios positivos (azul claro) que crecen muy rápidamente con la actividad, superando la línea de beneficios de la depuradora pequeña (azul muy oscuro).

En la depuradora pequeña, llega un punto en que los ingresos se estancan, mientras los costes de aumentar la producción siguen incrementándose, haciendo disminuir los beneficios. En la grande, sin embargo, este proceso ocurre para niveles de producción más elevados, con lo cual cuando en la depuradora pequeña los beneficios empiezan a caer, en la grande todavía son crecientes.

Es decir, el *apalancamiento operativo* se puede entender como una relación positiva que hace crecer más rápido los *beneficios* que los *costes variables*, sobre la base de unos elevados *costes fijos*. Esa expectativa incentiva por tanto el sobredimensionamiento de las infraestructuras.

En síntesis, las implicaciones del apalancamiento operativo son:

Sobredimensionamiento de la obra => Sobredimensionamiento de costes fijos
=> mayor crecimiento de beneficios con la actividad.

Aunque el resultado sea una creciente ineficiencia (al emplear más recursos de los necesarios), el apalancamiento operativo tiene un riesgo asociado, en caso de que la actividad no crezca en la medida esperada.

- El *apalancamiento financiero*

El *apalancamiento financiero* (o *leverage*) se produce en la medida que la tasa de beneficio esperada por la actividad en cuestión sea superior al interés a pagar por financiar esa actividad.

En escenarios de crédito fácil y barato, como los vividos con la burbuja financiera-inmobiliaria, el *apalancamiento financiero* incentivó de nuevo asumir créditos desde la expectativa de beneficios crecientes.

En resumen: el *apalancamiento operativo* y el *financiero*, en un negocio con una notable proporción de *costes fijos* y en un escenario de *crédito fácil y barato*, al igual que ocurrió con la burbuja inmobiliaria, incentivaron el *sobredimensionamiento* de los proyectos, generando un *proceso especulativo* especialmente peligroso e injustificable en la medida que se jugaba con un *servicio básico de interés general*.

EJEMPLO:				
SE QUIERE CONSTRUIR UNA DEPURADORA CON LOS SIGUIENTES DATOS:				
	SIN FINANCIAC	20% FINANCIAC	50% FINANCIAC	80% FINANCIAC
COSTE DE INVERSION	100.000 €	100.000 €	100.000 €	100.000 €
FINANCIACIÓN	0 €	20.000 €	50.000 €	80.000 €
APORTACION SOCIOS	100.000 €	80.000 €	50.000 €	20.000 €
BENEFICIO	10.000 €	8.600 €	6.500 €	3.400 €
RENTABILIDAD DEL PROYECTO	10%	8,6 %	6,5 %	3,4 %
RENTABILIDAD DE LOS SOCIOS	10 %	10,75 %	13 %	17 %

Nota: Se asume un coste financiero del 7%. En la última columna, el beneficio debe ser 4.400 en vez de 3.400, es decir, $(10.000 - 0,07 \times 80.000) = 4.400$. Así, la rentabilidad de los socios sería del 4'4% y la del proyecto del 22%.

Figura 11. Ejemplo de apalancamiento financiero de una EDAR. Fuente: Esteban Utrillas, V. (CCOO, 2008b).

En el ejemplo del cuadro, con un coste financiero del 7% y un beneficio del 10%, a medida que se reduce la aportación de los socios (*fondos propios*) y se aumenta el porcentaje financiado mediante préstamo (*deuda senior*), la rentabilidad de la inversión de los socios crece, pasando del 10% si no hay financiación externa, al 22% si esa financiación externa es del 80%. De esta forma, la demanda de mayores créditos incentiva el sobredimensionamiento de la inversión y de las correspondientes infraestructuras, haciendo caer la rentabilidad del proyecto y aumentando la de los accionistas.

- Alegaciones y argumentos críticos a los EVDP del Pirineo

El estudio realizado por Esteban Utrillas, sobre el modelo concesional y la estructura financiera elegida, concluye que el proyecto de la depuración en el Pirineo debe rechazarse por los siguientes motivos (Esteban Utrillas, V.; CCOO, 2008b):

- *En ninguna legislación se dice que sea necesario depurar todas las aguas.*
- *Se sobredimensionan las necesidades de depuración bajo incentivos de rentabilidad privada arriesgados.*
- *Se utilizan fórmulas de financiación que ponen en peligro el Servicio Público.*
- *Se utilizan fórmulas especulativas para la gestión de riesgos, poco o nada controladas por los órganos de control financiero.*
- *Es una fórmula mucho más cara para el ciudadano.*
- *No es la fórmula más respetuosa con el medio ambiente.*

Análisis financiero

Esteban Utrillas desarrolla un análisis financiero Coste-Beneficio que busca calcular el Valor Actualizado Neto (VAN), que refleja la suma de los flujos de caja (ingresos-costes), debidamente actualizados, a lo largo del periodo de concesión. Este método permite jerarquizar inversiones, en un abanico de posibles opciones de inversión; o bien simplemente medir el nivel de rentabilidad global esperable de un determinado negocio, que en este caso sería la construcción y gestión de una EDAR en las condiciones de concesión referenciadas.

Los propios EVDP en sus anexos incluyen este análisis, de donde deducen la rentabilidad de los proyectos⁴⁷.

A continuación, tomando de ejemplo la Zona P1, se somete el análisis financiero coste-beneficio de los EVDP a una doble crítica;

Por un lado, la inflación que se consideraba en los EVDP es constante e igual al 3'5%, cuestión que no parece razonable ni realista. En vez del 3'5%, empleamos una inflación más realista, tomando en consideración la variación anual del IPC, con base 2011 (INE, 2013), los datos de 2013 (actualmente disponibles hasta septiembre) y usando para 2014 las previsiones de Funcas (2013). Para los años siguientes contemplamos una variación moderadamente creciente del IPC, hasta situarse en un nivel del 3,5%. En definitiva, se trata simplemente de utilizar datos y previsiones más realistas de la inflación que las asumidas en los EVDP.

Lógicamente, una mayor inflación prevista aumenta la rentabilidad (del proyecto y del accionista), ya que la inflación se utiliza para revisar las tarifas, que son los ingresos de la empresa por el servicio de depuración. Es decir, si consideramos que la inflación ha sido menor que la esperada, la rentabilidad del proyecto se reduce.

Por otro lado, Esteban Utrillas (CCOO, 2008c) sustituye el factor de revisión de precios del 0'85% utilizado en los EVDP, por el de 0'42%. Los motivos, que se explican más adelante al exponer las alegaciones, se fundamentan en la distribución de riesgos entre el sector público y la empresa concesionaria. En cualquier caso, utilizar un factor de revisión de precios menor al estimado en los EVDP, también reduciría la rentabilidad.

Una vez revisado de esta forma, el análisis financiero ofrece resultados muy distintos a los presentados por los EVDP.

Tabla 10. Resultados del análisis financiero. Elaboración propia a partir de (Esteban Utrillas, V.; CCOO, 2008c).

	VAN EVDP Z1	Con inflación real y previsible	Con factor de actualización de precios del 0,85
TIR DEL PROYECTO	6,78%	5,21%	3,99%
TIR DEL ACCIONISTA	10,88%	7,11%	1,84%
VAN DE LOS CFLE*	8.118.073	2.329.552	-1.552.405
VAN DE LOS CFLA**	No calculado	2.569.212	-2.160.580,83

* Cash flow libre de explotación. / ** Cash flow libre del accionista.

⁴⁷ Se pueden consultar en el **Anexo II**.

El CFLE hace referencia al dinero generado por el negocio durante un periodo de tiempo sin tener en cuenta intereses de deuda o pago de impuestos.

El CFLA se refiere al mismo concepto, pero teniendo en cuenta el pago de intereses y de impuestos. Es el flujo de caja disponible para el reparto de dividendos.

La primera columna son los cálculos que aparecen en los EVDP para la Zona P1, mientras que en la segunda columna aparecen los cálculos que realizamos sobre los anteriores datos teniendo en cuenta la inflación tal como se ha explicado, y la tercera columna además incluye un factor de revisión de precios del 0,42 en vez del 0,48⁴⁸.

Como se puede apreciar, la diferencia es muy grande en uno u otro caso. Para un escenario más realista que el que se proyectaba en los EVDP, teniendo en cuenta la inflación y el factor de revisión de precios adecuado (según explicamos más adelante), el Valor Actualizado Neto de la inversión arroja un resultado negativo (-1.552.405 para los CFLE, y -2.160.580,83 para los CFLA), según los cuales la inversión debería rechazarse (una inversión se acepta tan sólo para un VAN>0).

Por otro lado, tanto la Tasa Interna de Retorno (rentabilidad) del proyecto como del accionista, aunque resultan ser positivas, tienen unos valores muy bajos, por debajo del coste de oportunidad el dinero (es decir, el inversor conseguiría un mayor rendimiento por esos fondos si los invirtiera en otro activo, por ejemplo un depósito bancario).

2.2.1.5. Las alegaciones a los EVDP

Este apartado expone y explica las alegaciones a los EVDP de Esteban Utrillas, V. (CCOO, 2008a) para la Zona 1 del Pirineo.

1) Sobredimensionamiento de la demanda prevista

El caudal de diseño es de 4.175.454 m³/año, frente a los 1.574.951 m³/año de caudal esperado. Esta diferencia se explica por una previsión de desarrollo de los municipios que descansa en un incremento de población derivado de la demanda de viviendas con carácter estacional. Este planteamiento conduce a un modelo “insostenible”, y “en tiempo de crisis inviable”, que además contempla unas demandas punta que la dimensión de las obras sean inadecuadas para gran parte del año (la de normalidad de la demanda).

Como aclaración, cabe apuntar que el caudal esperado es el caudal “normal”, mientras que el caudal de diseño recogería factores estacionales (picos de demanda). No obstante, ambos caudales se consideran sobredimensionados debido a que se basan en un desarrollo rural y urbanístico expansivo, vinculado a la burbuja inmobiliaria (aumento de las residencias habituales y estacionales) y financiera (crédito barato).

⁴⁸ En el **Anexo III** reproducimos los datos calculados.

El caudal de diseño quedaría afectado por un sobredimensionamiento mayor, al incluir no sólo nuevas viviendas residenciales o actividades industriales, sino las vinculadas a segundas residencias y residentes estacionales.

2) Encarecimiento de la tarifa.

Esta diferencia existente entre los caudales de diseño y los esperados conlleva que los costes de construcción y explotación de las EDAR aumenten considerablemente.

Por ello, para hacer rentable la inversión, se necesita incrementar la tarifa de depuración. Esto ocurre esencialmente en el tramo “A”, el cual garantiza la recuperación de la inversión y los costes de explotación de las depuradoras.

Tabla 11. Ejemplo de encarecimiento de tarifa. Fuente: Esteban Utrillas, V. (CCOO, 2008a).

ZONA	INVERSION	PRESUPUESTO BASE	CAUDAL DE DISEÑO	TARIFA DE LICITACION
Pirineos P1	32.915.310	124.629.443	4.175.454	1,1750
Zona 7-B	32.003.513	112.538.863	5.737.800	0,8330

Como se aprecia en la tabla anterior, la tarifa de licitación en la Zona Pirineos P1 resulta un 41% más cara que la de la Zona 7-B, debido al sobredimensionamiento ya que este implica una infrautilización de las infraestructuras en la mayor parte del año, con el consiguiente encarecimiento de los costes de mantenimiento y financieros, y por ende de la tarifa y el canon.

3) Revisión de las tarifas.

Según la Ley 30/2007, de 30 de octubre, de Contratos del Sector Público, art. 78, en relación al sistema de revisión de precios:

3. *Cuando el índice de referencia que se adopte sea el Índice de Precios al Consumo elaborado por el Instituto Nacional de Estadística o cualquiera de los índices de los grupos, subgrupos, clases o subclases que en él se integran, la revisión no podrá superar el 85% de variación experimentada por el índice adoptado.*

Sin embargo, la aplicación de este porcentaje para la revisión de las tarifas tal como se pretende en las EDAR que se proyectan en los EVDP, implica necesariamente revalorizar también la parte de la tarifa correspondiente a la recuperación por parte de la empresa concesionaria de la inversión realizada, por lo que no queda asegurada la transmisión del riesgo de construcción a la sociedad concesionaria, aspecto imprescindible de acuerdo con el SEC-95 para que la inversión realizada por la Administración no contabilice como deuda pública.

Es decir, para cumplir con los criterios del SEC-95 habría que actualizar sólo la parte correspondiente a la explotación, pero no la de construcción. Se adopta un índice para descontar la inflación, lo cual sirve para calcular (en base a los supuestos

realizados) el valor real (esto es, no afectado por la inflación) y la rentabilidad de una inversión.

4) Rentabilidad de la inversión.

En caso de que el factor de actualización de precios posibilitara la transmisión el riesgo de la construcción (es decir, tomando en consideración sólo los costes de explotación), este se reduciría a 0'42, con lo que la rentabilidad agregada para los accionistas (TIR del capital) sería mucho menor al 10'88% previsto, quedando en el límite del coste de oportunidad, o incluso por debajo. El coste de oportunidad hace referencia a la rentabilidad perdida por elegir una inversión y no otra. Bajo estas condiciones, la inversión no sería rentable para los accionistas, ya que podrían obtener mayor rentabilidad por sus fondos si los colocaran o invirtieran en otros activos.

5) Solvencia de la inversión.

Los principales ratios de solvencia dan unos resultados preocupantes durante los primeros años de la inversión, lo cual genera serias dudas sobre la solvencia de la sociedad “vehículo”. Los ratios considerados⁴⁹ son:

$$R_1 = \frac{\text{Activo Circulante}}{\text{Acreedores } C / P}$$

$$R_2 = \frac{\text{Total Activo}}{\text{Fondos Propios}}$$

$$R_3 = \frac{(\text{Acreed. } C / P) + (\text{Acreed. } L / P)}{\text{Total Pasivo}}$$

$$R_4 = \frac{(\text{Acr } L / P) + (\text{Acr } C / P)}{(\text{Ventas} + \text{Dotaciones} + \text{Var. } Pr. ov. + Pr. ov. Fin)}$$

$$R_5 = \frac{(\text{Deudas EntCred } C / P) + (\text{Deudas EntCred } L / P)}{\text{Total Pasivo}}$$

Por otro lado, dado que los socios promotores sólo responden por los fondos propios aportados a la sociedad “vehículo” (un 20% de la inversión), figurando las infraestructuras tan sólo en el balance de esta última, existe el riesgo de que si no se devuelven los créditos correspondientes a la ejecución de los proyectos, las entidades financieras se hagan cargo de las infraestructuras, de manera que la Administración perdería el valor del fondo de reversión de las mismas. Esta magnitud refleja el valor de las infraestructuras en cada momento y hace referencia a la manera que se preveía en la contabilidad para efectuar la transferencia de las infraestructuras de la sociedad vehículo a la Administración.

No obstante, a este respecto hay que tener en cuenta que según la responsabilidad patrimonial, al satisfacer las depuradoras un servicio público sería la

⁴⁹ Para ver los resultados de dichos ratios, consultar el **Anexo IV**.

Administración la que en última instancia debe hacerse cargo de las infraestructuras, así como de la deuda con el prestamista.

* * *

Las alegaciones fueron desestimadas por SODEMASA y por el IAA.

2.2.2. Claves económico-financieras de la depuración pirenaica y aragonesa

2.2.2.1. Introducción

En el presente epígrafe se realiza un repaso de las claves económicas y financieras de la política que en materia de depuración se viene produciendo en el Pirineo y en Aragón, basándonos en los diversos datos y perspectivas expuestas y a la luz de los hechos.

Se comienza analizando las claves financieras (la estructura tarifaria, el canon, y el modelo financiero de los proyectos), para continuación centrarnos en las económicas (dimensionamiento y eficiencia). Finalmente, como resultado de todo ello, se diagnostica la situación actual y el colapso financiero del Plan de Saneamiento y Depuración de Aragón.

2.2.2.2. Claves financieras: Tarifas, canon y el modelo financiero (PFI)

En este apartado se explican los elementos que serán claves en el mal dimensionamiento de las EDAR proyectadas en el Pirineo y para el colapso financiero del mismo, profundizando en algunos aspectos ya comentados.

Para profundizar en el diseño de la estructura tarifaria recurrimos al *Pliego de cláusulas administrativas particulares del contrato de concesión de obra pública para la redacción de proyectos, construcción y explotación de las infraestructuras necesarias para la depuración de aguas residuales en el pirineo Zona P1: Río Aragón*, (IAA, 2008) en el cual se afirma en cuanto a la retribución al concesionario por la utilización de la obra que:

- *El concesionario tendrá derecho a percibir del Órgano de Contratación una retribución por la utilización de la obra en función del volumen de agua realmente depurada en cada una de las instalaciones en funcionamiento.*
- *El Órgano de contratación retribuirá al concesionario mediante una tarifa estructurada en dos tramos, de la siguiente manera:*
 - *De 0 a QA (m3 / día) PA (euros por metro cúbico)*
 - *De QA en adelante PB (euros por metro cúbico), hasta el límite de un incremento del 10% del caudal de diseño. Superado este límite no corresponderá retribución al concesionario por el caudal que exceda del mismo.*
- *Los tres parámetros (QA, PA, PB) definitorios de la tarifa estarán fijados de manera individual para cada una de los nidos de depuradoras objeto del contrato.*

- El concesionario no tendrá derecho a percibir retribución prevista en la presente cláusula por aquellas EDAR que no alcancen los rendimientos comprometidos o cuya explotación se encuentre interrumpida durante todo el período en el que persistan estas circunstancias.

En cuanto a las EDAR proyectadas, se entiende por **nido de depuradoras** al conjunto de EDAR integrado por una EDAR principal y un número de EDAR accesorias a la principal que constituyen unidades técnicas a los efectos de la ejecución del contrato y la retribución del concesionario.

Es decir, un nido se compone de una EDAR principal y otras más pequeñas (satélites), que en conjunto forman una unidad técnica a efectos del cálculo de caudales y tarifas. Se vio al analizar los EVDP que se debía trasladar al concesionario el riesgo de demanda y bien el de disponibilidad, o bien el de demanda. Esto se realiza de manera que la EDAR principal del nido hace frente al riesgo de demanda (lo que implica una tarifa en dos tramos), y las EDAR satélites hacen frente al riesgo por disponibilidad (lo que implica penalizaciones por incumplimiento del servicio). Ello se debe a que los contadores se sitúan a la salida de las principales, y son esos datos los que sirven de base para el cálculo de la tarifa; es por ello que la tarifa de las satélites viene implícita en la principal.

Dicho de otra manera, las tarifas incluyen tanto los costes como la rentabilidad de todo el nido de forma que:

- Para un caudal depurado nulo, la tarifa es nula.
- El primer tramo de la tarifa se basa en el 75% caudal esperado, y pretende recuperar los costes fijos y la amortización de la obra.
- El segundo tramo, en caso de que el caudal depurado sea igual al esperado, es el que cubriría los costes variables y garantizaría la rentabilidad de los socios y la devolución del préstamo.

Por último, ponderando las tarifas de todos los nidos de la Zona (centro de gravedad de las tarifas), se calcula la tarifa final, única para toda la Zona.

De todo ello se pueden extraer dos conclusiones:

- a) Para un volumen depurado mayor que cero, cuanto mayor sea el caudal esperado (y por tanto el dimensionamiento de la obra), mayor es la tarifa y el beneficio de los constructores (al ser mayor la obra a ejecutar).
- b) Si el caudal realmente depurado es menor que el esperado, los beneficios del concesionario y la devolución del préstamo se ven comprometidos, ya que es la igualdad entre el caudal depurado y el esperado sobre la que se calcula el equilibrio financiero.

El primer punto ayudaría a explicar un posible interés de la iniciativa privada en sobredimensionar las obras, mientras que el segundo explicaría la retirada de las empresas de los proyectos, y la decisión de la banca de no financiarlos.

En síntesis, es en un contexto inercial de crédito barato y fiebre constructora en el que se enmarcan estos proyectos, y es a través del apalancamiento operativo que se sobredimensionan las obras y por consiguiente el caudal esperado y el de diseño. Por

otro lado el apalancamiento financiero y el PFI implican un elevado endeudamiento del proyecto, y elevados beneficios para los accionistas y para la banca. Sin embargo estos beneficios se estimaron en base a un desarrollo urbanístico expansivo y a una situación de crédito barato, que a través de la tarifa debían recuperar costes y satisfacer rentabilidades. Sin embargo, esta estimación de ingresos, y por tanto el equilibrio financiero resultante, dependen de que el caudal depurado sea igual al esperado.

A continuación se realizan algunas consideraciones con respecto al canon de saneamiento. Como el canon y su problemática social asociada ya ha sido expuesta⁵⁰, esta reflexión se centrará en los aspectos del canon en relación al equilibrio financiero del Plan de Saneamiento y Depuración de Aragón.

Según datos del IAA facilitados a la RAPA (RAPA, 2013a)⁵¹, en 2012 (único año para el que el IAA facilita datos de ingresos y costes) el canon arrojó un déficit de -13.259.471 €, excluyendo Zaragoza. Éste déficit se compensa casi a la perfección con el resultado del canon para Zaragoza, que es de 13.564.191 €.

A este respecto cabe recordar que:

- La mayoría de pueblos del Pirineo están pagando por un servicio de depuración que no tienen.
- Zaragoza posee dos EDAR en funcionamiento desde principios de los 90, que se vienen pagando por sus ciudadanos mediante una tasa municipal que cubre la amortización de la inversión y la gestión del servicio (RAPA, 2013b), por lo cual existen serias dudas sobre si Zaragoza debe pagar, además, el canon impuesto por el IAA.

Finalmente, se recuerdan dos conclusiones con respecto al modelo financiero empleado, el PFI:

- El apalancamiento producía un sobredimensionamiento de las obras motivado por unas mayores expectativas de beneficio para el sector privado. La consecuencia era el aumento de los costes y la sobreestimación de beneficios.
- Las condiciones del PFI resultan muy ventajosas para la banca y los socios del proyecto, quedando como avalista último en caso de insolvencia la Administración.

2.2.2.3. Claves económicas: Dimensionamiento y eficiencia

Además de lo expuesto en el epígrafe anterior, cabe mencionar el informe de La Calle Marcos (2013), dictamen jurídico encargado por ADELPA⁵², en el que se analiza la compatibilidad de la Revisión del Plan Aragonés de Saneamiento y Depuración con el derecho comunitario. En él se explican dos singularidades que parecen explicar, en parte, los errores que han llevado al sobredimensionamiento.

⁵⁰ En el apartado de Diagnóstico social, dentro del presente trabajo.

⁵¹ Véase el **Anexo V** para una reproducción completa de los datos.

⁵² Asociación de Entidades Locales del Pirineo Aragonés

Por un lado se encuentra la metodología seguida en torno al concepto de *habitante equivalente*⁵³, el cual se define en la Directiva de tratamiento de aguas residuales de la UE. Si bien dicho concepto se recoge en la Revisión del PASD, el concepto por el que se opta es el de *habitantes equivalentes de diseño*, de manera que se pondera el cálculo a partir de la relación entre los habitantes equivalentes estimados y los de derecho.

Por otro lado, los criterios para determinar el espacio de acción de la planificación del saneamiento, también difieren entre el Gobierno de Aragón y la Directiva de tratamiento de aguas residuales comunitaria. Mientras que según la normativa comunitaria el concepto obligatorio es el de *aglomeración urbana*, en Aragón los gestores de lo público han optado por el de *entidad singular de población*.

La diferencia entre uno y otro, consiste en que la zona de *aglomeración urbana* se define en cuanto a la necesidad efectiva de depurar (de acuerdo con las condiciones requeridas a las masas de agua), mientras que el concepto de *entidad singular de población* se define en relación a si la zona está habitada “o excepcionalmente deshabitada”, y a si tiene “denominación específica” y se diferencia claramente dentro de un término municipal. De esta manera, una *aglomeración urbana* puede comprender varias *entidades singulares de población*.

En definitiva, aunque no causas, se puede extraer de estas dos “singularidades” que constituyen argumentos, justificaciones o métodos jurídicos para el sobredimensionamiento tanto de las EDAR (en el caso de los *habitantes equivalentes de diseño*), como del número de EDAR (en el caso de las *entidades singulares de población*).

Cabe recordar aquí los otros factores, esta vez de naturaleza económica, que han conducido al generalizado sobredimensionamiento de las obras: Por un lado el elevado apalancamiento del modelo financiero elegido (ya explicado), y por otro la falta de análisis prospectivo, es decir: *Los cálculos de los caudales de diseño están definidos sobre la base de un modelo de desarrollo de los municipios, que prevé el incremento de la población basado en el desarrollo de la demanda de viviendas con carácter estacional. Este modelo aparte de ser insostenible (y en el momento actual de crisis inviable), produce unas demandas punta que provoca que la dimensión de las EDAR sea inadecuada para gran parte del año* (Esteban Utrillas, V.; CCOO, 2008a).

A continuación se presenta una tabla construida a partir de los datos disponibles que facilita el IAA sobre las EDAR del Pirineo en funcionamiento o en fase de construcción, comparando los habitantes con servicio frente a los habitantes equivalentes para los que se diseñó cada EDAR:

⁵³ 1 habitante equivalente = Carga orgánica biodegradable con una demanda bioquímica de oxígeno de 5 días (DBO5) de 60 g de oxígeno por día.

Comarca	Núcleos servidos	Población con servicio (habitantes)	Capacidad carga (h-e)	h-e / población con servicio
Ribagorza	Arén	215	1.042	4'85
	Benabarre	909	1.400	1'5
	Campo	240	1.500	6'25
	Castejón de Sos	610	3.000	4'92
	Estopiñán del Castillo	175	800	4'57
	Graus	2.792	7.200	2'58
	Lascuarre	140	529	3'77
	Perarrúa	51	300	5'88
Alto Gállego	Sabiñánigo	9.108	16.000	1'76
La Jacetania	Jaca	12.203	56.700	4'65

Figura 12. EDAR del Pirineo en funcionamiento o en fase de construcción. Fuente: Elaboración propia a partir de datos del IAA.

En la última columna, se puede apreciar en cuántas veces superan los habitantes equivalentes de diseño a la población con servicio en estos casos.

Por último, con fin de realizar una aproximación a la eficiencia también se puede aludir al cociente del caudal depurado entre el caudal de diseño, de manera que si son iguales la EDAR funciona a plena capacidad, y si el caudal depurado es inferior (superior) al de diseño, la EDAR funciona por debajo (encima) de su capacidad. La RAPA realiza un análisis⁵⁴ de este tipo, tomando datos de 2012 que facilitó el IAA. De la lectura de la tabla podemos resaltar:

- En Aragón se encontraban en funcionamiento (en el año 2012) 190 depuradoras.
- De ellas, 75 (casi el 40%), funcionan a menos del 50% de capacidad, variando los porcentajes entre el 7'75% y el 49'87%.
- 48 de las EDAR funcionan entre el 50% y el 75% de capacidad.
- 22 de las EDAR funcionan entre el 75% y el 100% de capacidad.
- 24 de las EDAR funcionan al 100% de capacidad.
- 12 de las EDAR funcional entre el 100% y el 150% de capacidad.
- Finalmente, 7 funcional entre el 150% y el 226% de capacidad.

De manera que fijándonos en el cociente (Caudal depurado 2012 / Caudal de diseño), 145 de las depuradoras funcionan por debajo de su capacidad, 24 funcionan a plena capacidad, y 19 funcionan por encima de su capacidad.

⁵⁴ Reproducimos la tabla en el **Anexo V**

Cabe notar que esta es una aproximación a la eficiencia, y no una medida exacta de la misma, ya que en el cociente (el caudal de diseño) viene incluida la carga contaminante, de manera que en rigor un bajo nivel de este cociente se puede deber tanto a una carga contaminante elevada, como a una infrautilización de las obras (es decir un sobredimensionamiento de las mismas).

Hemos visto que existen argumentos jurídicos (*habitantes equivalentes de diseño y entidades singulares de población*) que dan cobertura los factores económicos del sobredimensionamiento (apalancamiento y beneficios de la iniciativa privada). En cualquier caso, el hecho de que existan EDAR sobredimensionadas, y que otras directamente no sean necesarias, conlleva necesariamente un aumento de los costes.

Como estos se deben recuperar con la tarifa (que además debe garantizar los beneficios de la empresa y la devolución del préstamo al banco), todo ello implicará asimismo un encarecimiento de las tarifas, y por consiguiente del canon de depuración y, en general, de la depuración en el Pirineo.

2.2.2.4. El colapso financiero

El sobredimensionamiento implica, como hemos visto, unos mayores costes que se deben recuperar con la tarifa, así como un caudal esperado y de diseño sobreestimados. Pero hay que tener en cuenta que el contexto sobre el que descansaba todo el Plan se ha venido abajo: la burbuja inmobiliaria se ha pinchado y el crédito, en caso de ser accesible, ya no es barato. Asimismo el desarrollo urbanístico sobre el que se especulaba no ha tenido lugar ni se espera que lo tenga, al menos en el corto y medio plazo. Resultado de todo ello, es que el caudal a depurar en los pueblos del Pirineo dista mucho del caudal que se esperaba depurar, y (como vimos al estudiar la estructura tarifaria) este hecho implica que los costes, los beneficios de la empresa concesionaria y la devolución del préstamo ya no se pueden satisfacer por medio de la tarifa, ya que se fundamenta en un caudal depurado igual al esperado.

Si se produce una caída de los ingresos (menor tarifa debida a un caudal depurado menor al esperado) y un aumento de los costes de explotación (debido al sobredimensionamiento de las instalaciones), el beneficio cae necesariamente y con él la rentabilidad de las inversiones. Todo ello explicaría la situación actual de incumplimiento de ejecución de los contratos, “burbuja hídrica”, y retirada de la financiación por parte de la banca.

En un escenario de insolvencia de las empresas, tal como vimos al estudiar el PFI, es la Administración la que debe hacerse cargo de las infraestructuras y de la deuda comprometida, pero ¿cómo hacer frente a todos estos gastos, y seguir adelante con el Plan de Depuración del Pirineo?

Por un lado el cobro del canon es esencial. Se vio como la contribución de Zaragoza resultaba fundamental para compensar el déficit asociado al canon del resto de Aragón, pero si Zaragoza no paga el canon y más municipios se suman a la insumisión al mismo⁵⁵ el sistema es insostenible.

⁵⁵ <http://mareazuldearagon.blogspot.com.es/2013/10/entramos-en-una-fase-decisiva.html>

Por otro lado, los fondos que aportó el MMA para la depuración en los Pirineos no se han invertido en la misma⁵⁶ dado que el PFI delegaba la obtención de financiación en la empresa concesionaria, con lo que supuestamente esos fondos se podían dedicar a otras inversiones.

En esta situación, el Gobierno de Aragón ha solicitado financiación al Banco Europeo de Inversiones (BEI) para poder seguir adelante con la depuración proyectada en el Pirineo, aunque también ha llegado al BEI un *Memorandum presentado por la Red Agua Pública de Aragón sobre el Plan Aragonés de Saneamiento y Depuración en ocasión de la solicitud de financiación cursada por el Gobierno Autónomo de Aragón – DGA* en el que, entre otras cosas, se solicita al BEI una auditoría independiente del PSDA y una revisión del mismo sujeta a la participación ciudadana.

En caso de no obtener financiación se prevé un “plan B” para el Pirineo que consistiría en reducir de 297 a 29 las obras pendientes de ejecución⁵⁷.

En cualquier caso, es de gran importancia corregir los errores que se han venido cometiendo. De no ser así, corremos el riesgo de continuar una tendencia que, a través de depuradoras sobredimensionadas, y de un exceso de depuradoras, provocan una huida de la iniciativa privada y un elevado endeudamiento de los Ayuntamientos que ya de por sí poseen limitados recursos. Por ello, desde el análisis económico, cabría realizar las siguientes recomendaciones:

- Se debería proceder mediante un Análisis Coste-Eficacia (ACE)⁵⁸ para cada caso (cada *aglomeración urbana*) de manera que se tengan en cuenta todas las tecnologías de depuración posibles (y no sólo las propuestas por el IAA). El ACE permitirá elegir la tecnología adecuada más barata.
- Los proyectos se deben adecuar al buen cálculo económico. Los estudios deberían ser prospectivos, es decir, deberían tener en cuenta los escenarios probables de futuro, en vez de proyectar una tendencia lineal. Por ejemplo, en 2008 (año de publicación de los EVDP) cuando la crisis ya era reconocida por todos, no cabía esperar un desarrollo urbanístico como el que se había venido produciendo en España los años anteriores.
- Además, cabría reconsiderar la relación del sector público y el privado en estos proyectos en torno a los riesgos asumidos, beneficios potenciales y modelo financiero elegido. Así, habría que considerar la conveniencia o no de la participación privada en estos casos (depuración como provisión de un bien público), así como del nivel de endeudamiento asumido. Y todo ello al margen del viejo debate de lo público o privado, ya que ningún tipo de gestión (pública o privada) tiene garantía de éxito por sí misma.

⁵⁶ Véase el apartado de Diagnóstico social del presente trabajo.

⁵⁷

http://www.heraldo.es/noticias/aragon/2013/10/08/lobon_quot_plan_impulso_crea_mantendran_entre_500_700_empleos_agricultura_quot_252201_300.html

⁵⁸ Sobre esta cuestión se profundiza en la valoración económica de las alternativas del presente trabajo.

2.3. DIAGNÓSTICO AMBIENTAL

La depuración y la reutilización de las aguas residuales cada vez adquiere mayor importancia, ya que, la escasez de agua potable es un problema en aumento en todo el mundo, debido a factores tales como el incremento continuo de la población, la mejora del nivel de vida y la creciente contaminación de los recursos naturales existentes.

Un problema común a buena parte de España es la falta de depuración de las aguas residuales urbanas y el mal funcionamiento de las depuradoras existentes (Fundación Global Nature. Universidad Politécnica de Madrid, 2005). La depuración de aguas residuales es actualmente uno de los retos ecológicos y económicos más acuciantes (Fernández González, 2005).

El principal objetivo del tratamiento de aguas residuales es eliminar o reducir los contaminantes a niveles que no causen efectos nocivos en humanos o en los ambientes receptores, evitando el deterioro de la calidad del medio ambiente y posibilitando la reutilización de las aguas residuales.

Es de vital importancia lograr el tratamiento adecuado de las aguas residuales mediante sistemas que se integren en la naturaleza, que sean eficientes en cuanto a la remoción de contaminantes, con el menor coste económico y energético posible. Según Fernández González (2005) esto es necesario para contribuir en la consecución de los objetivos de reducción de emisiones de carbono contemplados en el Protocolo de Kioto.

2.3.1. Antecedentes de depuración en núcleos rurales en el pirineo

La **Directiva 91/271/CEE** relativa al **tratamiento de las aguas residuales urbanas**, del año 1991, tiene el objetivo de proteger el medio ambiente contra todo deterioro debido al vertido de esas aguas. El Gobierno español la adaptó mediante el Real Decreto-Ley 11/1995, norma que se desarrolló con el RD 509/1996. Esta Directiva define un habitante equivalente (h-e) como “la carga orgánica biodegradable con una demanda bioquímica de oxígeno de 5 días (DBO₅) de 60 g de oxígeno por día”. La Directiva fija que las aglomeraciones urbanas con **menos de 2.000 h-e** deben tener un **tratamiento adecuado**, definido como “el tratamiento de las aguas residuales urbanas mediante cualquier sistema de eliminación en virtud del cual, después del vertido de dichas aguas, las aguas receptoras cumplan los objetivos de calidad y las disposiciones pertinentes de la presente y de las restantes Directivas comunitarias”, antes del 31 de diciembre de 2005. Actualmente estas pequeñas aglomeraciones son las que tienen más deficiencias en lo que al tratamiento de sus aguas residuales se refiere. Para las estaciones de depuración de aguas residuales (EDAR) en poblaciones de **más 1.500 h-e** se aplicará un **tratamiento secundario de aireación prolongada**. Para poblaciones de entre **0 y 1.500 h-e** se aplicarán **distintos tratamientos** según la población equivalente a depurar.

La **Directiva Marco del Agua** del año **2000** fija el año 2015 como fecha límite para alcanzar el buen estado ecológico de las masas de agua.

En el ámbito autonómico, en el año 2001 se aprobó el **Plan Aragonés de Saneamiento y Depuración (PASD)**, principal instrumento de planificación de Aragón en materia de saneamiento y depuración de aguas residuales, que define criterios de actuación y las obras necesarias en Aragón. Su principal objetivo es mejorar el nivel de calidad de los ecosistemas hídricos de Aragón. Entre sus objetivos específicos está **depurar a corto plazo la totalidad de las aguas residuales urbanas de los núcleos del pirineo (antes de 2011)**, depurar la totalidad de las aguas residuales urbanas de Aragón, mejorar la calidad de las aguas de los ríos de Aragón tal que sean aptas para salmónidos en las cabeceras de los ríos, y para ciprínidos en los tramos medios y alcanzar en los ríos una calidad que permita producir agua potable. Este Plan se redacta para cumplir con la **Ley 9/97 de Saneamiento y Depuración de Aguas Residuales** de la Comunidad Autónoma de Aragón, y desarrollar la **Directiva de tratamiento de aguas residuales**. Se pretendía cumplir los plazos legalmente establecidos e impulsar la depuración de las aguas residuales urbanas. Buscaba construir **depuradoras en los núcleos de más de 1.000 h-e hasta 2010**, lograr un **tratamiento adecuado antes de 2015**, **depurar todas las aguas residuales urbanas antes de 2015** e instalar colectores de aguas residuales en todas las aglomeraciones urbanas de más de 400 h-e. La tabla 12 muestra los tratamientos de depuración recomendados por el PASD y su revisión (RPASD).

Tabla 12. Datos X: tratamientos recomendados por el PASD, datos Y: recomendados por la RPASD 2009. Fuente: Estudio de viabilidad del Plan de Depuración Integral del Pirineo Aragonés (Sodemasa, Gobierno de Aragón); Decreto 107/2009, por el que se aprueba la Revisión del Plan Aragonés de Saneamiento y Depuración. BOA Núm. 125, 01/07/2009.

Tratamiento	Habitantes equivalentes					
	0-100	100-400	400-1000	1000-2000	2000-5000	>5000
Fosa séptica	X / Y	X	X			
Tanque Imhoff	X / Y	X / Y ¹	X ¹	X ¹		
Filtros percoladores		Y ²	Y ²	X ² / Y ²	X ² / Y ²	X ² / Y ²
Biodiscos		Y ²	X ² / Y ²	X ² / Y ²	X ³ / Y ²	X ³ / Y ³
Fangos activos convencional				X ⁴	X ⁴	X ⁴ / Y ⁴
Aireación prolongada		Y	Y	X / Y	X / Y	X / Y
Canales de oxidación		Y	Y	X / Y	X / Y	X / Y
Filtros biológicos aireados				X ² / Y ²	X ² / Y ²	X ² / Y ²
Aplicaciones subsuperficiales	X ⁵ / Y ⁵	X ⁵ / Y ⁵	X ⁵ / Y ⁵			
Aplicaciones superficiales	X ⁶ / Y ⁶	X ⁶ / Y ⁶	X ⁶ / Y ⁶			
Lagunas naturales			X ⁷ / Y ⁷	X ⁷ / Y ⁷		
Lagunas artificiales			X ⁸	X ⁸ / Y ⁸	X ⁸ / Y ⁸	
Físico - químico				X ⁹ / Y ⁹	X ⁹ / Y ⁹	X ⁹ / Y ⁹

1: tiempo retención mínimo 3h; capacidad mínima de la zona de digestión 100 l/h-e

2: precedido de un primario; relación de estacionalidad inferior a 3

3: precedido de un primario; hasta 15.000 h-e

4: no recomendado para menos de 15.000h-e

5: precedido de un primario; tasa de aplicación no será mayor de 0,02 m³/m²*día

6: precedido de un primario; en filtros verdes, la superficie mínima es de 200 m²/h-e

7: tiempo de retención total mayor de 50 días

8: tiempo de retención total mayor de 10 días

9: sólo en caso de estacionalidad mayor de 5

El Instituto Aragonés del Agua, en adelante IAA, a través de la empresa pública Sodemasa, ha redactado proyectos tipo para la depuración integral de las aguas residuales de todos los núcleos del Pirineo aragonés, empelando diferentes sistemas de depuración a en función de los h-e de cada población. Mediante un análisis multicriterio, aunando aspectos económicos, técnicos y ambientales, respetando la legislación vigente y los tratamientos recomendados por el PASD, propone los siguientes sistemas de depuración:

Tabla 13. Tipologías de tratamientos de depuración. Fuente: Estudio de viabilidad del Plan de Depuración Integral del Pirineo Aragonés (Sodemasa, Gobierno de Aragón).

h-e	Pretratamiento	Tratamiento
0-20	Reja manual	Fosa séptica+filtro biológico
21-50	Reja manual	Tanque Imhoff+filtro biológico
51-100	Reja manual	Tanque Imhoff+filtro biológico
101-200	Tornillo compactador con tamiz	Aireación prolongada compacta
201-400	Tornillo compactador con tamiz	Aireación prolongada compacta
401-600	Tornillo compactador con tamiz	Aireación prolongada de obra civil
601-800	Tornillo compactador con tamiz	Aireación prolongada de obra civil
801-1000	Tornillo compactador con tamiz	Aireación prolongada de obra civil
>1000	Tornillo compactador con tamiz	Aireación prolongada de obra civil ⁵⁹

El Gobierno de Aragón aprobó el **Plan Especial de Depuración de Aguas Residuales de Aragón 2004-2006 (PED)** en el año 2004, con el fin de desarrollar el PASD. El PED prevé la depuración de 171 núcleos de población, recoge actuaciones de depuración de aguas residuales **en núcleos de más de 1.000 h-e**, suponiendo la construcción de **132 depuradoras y 39 colectores**, siendo prevista una población beneficiaria de 200.191 habitantes y una población de diseño de 594.930 h-e. Dentro del PED se seleccionan **14 tipos de EDAR tipificadas**, que cuentan con una **línea de agua** (formada entre otros por un pozo para extracción de gruesos, rejillas manuales, unidad compacta de tamizado/desbaste-desarenado-desengrasado y aireación prolongada en reactor biológico) y **una línea de fangos**. Así mismo, en el contexto del PED, se redactaron informes medioambientales de las actuaciones previstas y veinte estudios de impacto ambiental para ser tramitados en el Instituto Aragonés de Gestión Ambiental (INAGA).

En el año 2008 se firma el “Convenio de Colaboración entre el Ministerio de Medio Ambiente y la CCAA de Aragón, que fija el esquema general de coordinación y financiación para la ejecución de actuaciones en la CC.AA del Plan Nacional de Calidad de las Aguas: Saneamiento y Depuración 2008- 2015 y el ciclo integral del Agua”, por el que se realizarán las actuaciones necesarias para la depuración integral de las aguas residuales de **todos los núcleos del Pirineo aragonés**, siendo zonas de especial valor y fragilidad ambiental. Se conoce como **Plan Integral de Depuración del Pirineo Aragonés (PIDPA o Plan Pirineos)**, y pretendía hacer 297 actuaciones en **292 núcleos de población** de 62 municipios de las comarcas de Jacetania, Alto Gállego, Sobrarbe y Ribagorza. Afecta a una población de 19.592 habitantes (152.967 h-e según cálculos del IAA). Este convenio busca la calidad de los ecosistemas hídricos, contribuir a la conservación, protección y mejora de la calidad del medio ambiente, la utilización

⁵⁹ Tratamiento de aireación prolongada mediante tanques con lodos activos y un tratamiento biológico secundario.

racional de los recursos naturales, favorecer que se alcance el buen estado químico y ecológico de las aguas superficiales, como dicta la Directiva Marco, e impulsar la reutilización de las aguas urbanas e industriales.

Con el fin de adaptar el PASD a las nuevas normativas vigentes se aprobó en el año 2009, mediante el Decreto 107/2009, del Gobierno de Aragón, la **Revisión del Plan Aragonés de Saneamiento y Depuración (RPASD)**. Éste considera los objetivos del PED, incorpora el objetivo de depurar la totalidad de las aguas residuales urbanas de Aragón a través del Plan Pirineos, indica que las actuaciones propuestas están sujetas a la normativa de evaluación de impacto ambiental, deben cumplir la Ley de Espacios Naturales Protegidos de Aragón y deben respetar lo dispuesto en los Planes de Ordenación de los Recursos Naturales y en los instrumentos de planificación y gestión de esos espacios. La RPASD recoge el concepto de h-e, pero en general emplea el concepto de «h-e de diseño» para ponderar el cálculo a partir de la relación entre h-e estimados y habitantes de derecho (La Calle Marcos, 2013). Para determinar la depuración la RPASD emplea el concepto de entidad singular⁶⁰ de población, en lugar del de aglomeración urbana⁶¹. Este último es un concepto más amplio que puede incluir más de una entidad y es el empleado por la Directiva de tratamiento de aguas residuales (La Calle Marcos, 2013). La RPASD incluye la construcción de **26 depuradoras en la zona del Pirineo Aragonés en núcleos de más de 1.000 h-e**, de las cuales 7 se ubican en la comarca de la Ribagorza, 6 en el Alto Gállego, 8 en la Jacetania y 5 en el Sobrarbe. En la tabla 14 se detallan los datos asociados a cada una de ellas.

Tabla 14. Datos estadísticos de las depuradoras proyectadas en el área pirenaica (datos obtenidos en febrero de 2005). Fuente: Decreto 107/2009, por el que se aprueba la Revisión del Plan Aragonés de Saneamiento y Depuración. BOA Núm. 125, 01/07/2009.

Comarca	Entidad	Tratamiento	Datos de diseño			h-derecho 2001	Viv. pral.	Viv. sec.	Empleo industria
			Qm (m ³ /d)	DBO ₅ (kg/d)	h-e				
Ribagorza	Arén	EDAR tipificada (t)	250	63	1.042	243	101	78	9
	Benabarre	EDAR t	450	90	1.500	845	310	213	27
	Castejón de Sos	EDAR t	900	180	3.000	509	166	156	11
	Benasque	Filtros aireados (FA)	886	260	4.333	1.148	483	573	15
	Cerler	FA	687	156	2.600	266	119	501	7
	Eriste	Aireación prolongada (AP)	448	65	1.083	126	42	115	5
	Graus	Filtro de turba	2.126	260	4.333	2.363	878	469	168

⁶⁰ Entidad singular de población: cualquier área habitable de un término municipal, habitada o deshabitada, diferenciada y conocida por una denominación específica que la identifica sin confusión.

⁶¹ Aglomeración urbana, definida en la Directiva 91/271 como “la zona cuya población y/o actividades económicas presenten concentración suficiente para la recogida y conducción de las aguas residuales urbanas a una instalación de tratamiento de dichas aguas o a un punto de vertido final”.

Alto Gállego	Biescas	Físico-químico(FQ)	4.050	540	9.000	885	345	1.716	13
	Escarrilla	FQ	1.440	216	3.600	119	43	275	3
	Formigal	FQ	1.740	348	5.800	158	70	600	2
	Panticosa y P.Jaca	AP	1.660	349	5.817	700	270	776	6
	Sabiñánigo	AP	4.125	1.023	17.050	7.735	2.743	455	1.151
	Sallent de Gállego	AP	1.725	345	5.750	605	206	618	9
Jacetania	Ansó	AP	475	85	1.433	523	204	225	28
	Astún	FQ	1.130	350	5.833	12	5	440	0
	Candanchú	FQ	1.350	324	5.400	102	38	1.163	3
	Canfranc estación	Biodiscos	1.400	322	5.367	457	195	659	11
	Castiello de Jaca	FQ	590	118	1.967	143	66	279	0
	Jaca	AP	25.000	3.400	56.667	10.621	3.861	4.505	350
	Valle de Hecho	AP	670	127	2.117	633	230	185	37
	Villanúa	FQ	3.800	646	10.767	340	145	1.380	8
Sobrarbe	Aínsa-Sobrarbe	AP	1.069	223	3.717	1.116	384	201	24
	Bielsa	FA	1.443	199	3.317	301	112	48	9
	Boltaña	AP	835	114	1.900	677	266	315	3
	Broto	FA	976	181	3.017	237	83	273	2
	Torla	FA	1.196	170	2.833	247	88	152	3

La comarca del Sobrarbe, con una superficie de 2.203 km², reúne a 19 municipios y 151 entidades. En el año 2001 contaba con 27.368 h-e de diseño, según datos de la RPASD, población que aumentó en un 11,2% entre 2001 y 2011 según datos del IAE. La RPASD incluía la construcción de 5 depuradoras en núcleos de más de 1.000 h-e en esta comarca. Posteriormente el IAA, buscando depurar la totalidad de las aguas residuales urbanas de Aragón, realizó una concesión de obra pública para construir 100 EDAR en el Sobrarbe, siendo 26 las principales. Las EDAR proyectadas en la RPASD se tipificaron como «singulares», y se añadieron al grupo de estaciones para tratar una carga superior a 1.000 h-e, la de Fiscal y la de Plan-San Juan de Plan. El Sistema Integrado de Información del Agua del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente contiene información sobre las EDAR en todo el territorio nacional y a fecha de abril de 2013 no consta la construcción de ninguna EDAR en el Sobrarbe (La Calle Marcos, 2013).

Tabla 15. Listado de EDAR incluidas en la concesión del IAA, posterior a la aprobación del RPASD. Fuente: La Calle Marcos, (2013).

Entidad	Descripción EDAR	h-e	Entidad	Descripción EDAR	h-e
Aínsa	Singular	6.652	Vió	101-200	112
Bielsa	Singular	3.000	Gistaín	201-400	400
Boltaña- Margudged	Singular	3.834	Labuerda	601-800	800
Broto -Oto	Singular	4.000	Laspuña	801-999	999
Torla	Singular	2.500	Saravillo	101-200	200
Fiscal	Singular	2.000	Escalona	401-600	600
Plan-San Juan de Plan	Singular	1.500	Belsierra	201-400	262
Parzán	401-600	450	Puyarruego	201-400	262
Chisagües	101-200	112	Badain-Lafortunada	601-800	800
Sarvisé	201-400	400	Tella	201-400	262
Asín de Broto	101-200	200	Sin	201-400	262
Fanlo	201-400	400	Fragén	401-600	450
Nerín	401-600	450	Linás de Broto	401-600	500

2.3.2. Situación actual y proyectos de depuración planteados por el Instituto Aragonés del Agua

Según datos del sitio oficial de internet del IAA, en la comunidad autónoma de Aragón existen actualmente **187 EDAR, de las cuales 148 están en servicio y 30 en construcción**. Tomando datos del total de las depuradoras en servicio y en construcción, se tiene una capacidad de tratamiento de 671.163 (m³/día), una capacidad de carga de 2.819.285 h-e, una población con servicio de 1.186.767 habitantes y un porcentaje de habitantes servidos respecto al total de habitantes de la provincia de un 89,4%. En la **zona del pirineo aragonés existían, a fecha de 2011, 11 depuradoras, 8 en funcionamiento y 3 en construcción**. Destaca el hecho de que la comarca de Sobrarbe continúa sin ninguna depuradora. En la Ribagorza existen 6 EDAR en servicio: Graus, Perarrúa, La Puebla de Castro, Estopiñán del Castillo, Lascuarre y Campo y 3 EDAR en construcción: Benabarre, Castejón de Sos y Arén; suponiendo un 40,9% el porcentaje de habitantes servidos respecto al total de la comarca si se cuentan el total de las EDAR en servicio y en construcción. En la Jacetania hay 1 EDAR en servicio: Jaca, siendo el porcentaje de habitantes servidos respecto al total de la comarca de un 65,9%. En el Alto Gállego hay 1 EDAR en servicio, la de Sabiñánigo, suponiendo el porcentaje de habitantes servidos respecto al total de la comarca de un 62,5%.

En La Calle Marcos (2013) se muestra un mapa, elaborado con datos del Instituto Aragonés de Estadística (IAE), de las **9 EDAR del pirineo aragonés actualmente en servicio**, incluyendo la puesta en servicio en 2012 en Biescas, dimensionadas para un total de 84.529 h-e, que dan servicio a una población total de 25.005 habitantes. Estos datos son referidos a 2011, año en el cual la población del pirineo aragonés era de 53.436 habitantes según datos del IAE, por lo que sólo se estaban tratando un 47% de las aguas residuales de la zona. Estos datos deben actualizarse incluyendo el aumento de población de 2011 a la actualidad.



Figura 13. Estaciones depuradoras de aguas residuales urbanas en funcionamiento en el pirineo aragonés. Fuente: Datos del Instituto Aragonés de Estadística 2013, (La Calle Marcos, 2013).

Tabla 16. Estaciones depuradoras del pirineo aragonés. Fuente: sitio oficial de internet del Instituto Aragonés del Agua.

Comarca	Núcleos servidos	Población con servicio (hab.)	Estado actual	Entrada servicio	Titular explotación
Ribagorza	Arén	215	En construcción	-	Huesca Oriental Depura S.A. Concesión 20 años
	Benabarre	909	En construcción	-	Huesca Oriental Depura S.A. Concesión 20 años
	Campo	240	En funcionamiento	08/06/2005	IAA
	Castejón de Sos	610	En construcción	-	Huesca Oriental Depura S.A. Concesión 20 años
	Estopiñán del Castillo	175	En funcionamiento	01/04/2006	IAA
	Graus	2.792	En funcionamiento	31/01/2007	IAA
	Lascuarre	140	En funcionamiento	01/04/2006	IAA
	Perarrúa	51	En funcionamiento	01/06/2005	IAA
Alto Gállego	La Puebla de Castro	296	En funcionamiento	13/08/2006	IAA
	Sabiñánigo	9.108	En funcionamiento	31/05/2000	IAA
La Jacetania	Biescas	1.634	En funcionamiento	13/08/2012	Concesión 20 años
	Jaca	12.203	En funcionamiento	06/12/1999	IAA

Núcleos servidos	DATOS TÉCNICOS			DATOS FUNCIONAMIENTO						
	Tipo de tratamiento	Capac. tratamie nto (m3/día)	Capac. carga (h-e)	Q medio tratado (m ³ /día) ⁶²	h-e servido s	DBO ₅ (mg/L) Entrad/ salida	DQO (mg/L) Entrada/ salida	SS (mg/L) Entrada/ salida	Eliminac ión Nt (mg/L)	Elimina ción Pt (mg/L)
Arén	Fangos activados (FA) en aireación prolongada (AP)	250	1.042	-	-	-	-	-	-	-
Benabarre	Fangos activados en aireación prolongada	560	1.400	-	-	-	-	-	-	-
Campo	Biodiscos	375	1.500	187	702	151 / 6	281 / 27	122 / 10	-	-
Castejón de Sos	Fangos activados en aireación prolongada	900	3.000	-	-	-	-	-	-	-
Estopiñán del Castillo	Fangos activados en doble etapa	160	800	53	640	149 / 9	264 / 27	177 / 12	-	-
Graus	Fangos activados en aireación prolongada.	1.440	7.200	829	5.429	209 / 4	379 / 18	153 / 12	-	-
Lascuarre	Filtros percoladores	136	529	62	1.949	288 / 20	500 / 63	283 / 26	-	-
Perarrúa	Fangos activados con doble etapa y digestión aerobia	60	300	45	181	76 / 7	146 / 23	340 / 13	-	-
La Puebla de Castro	Biodiscos	400	1.500	127	619	194/8	355/45	164/11	-	-
Sabiñánigo	FA en AP y eliminación de nutrientes	4.125	16.000	4.170	13.864	124 / 5	224 / 16	122 / 5	24,4 / 5,7	2,8 / 1,0
Biescas	Fangos activados en aireación prolongada	2.400	12.000	1.911	-	-	-	-	-	-
Jaca	FA en AP y eliminación de nutrientes	25.000	56.700	14.524	36.281	72 / 4	131 / 12	84 / 4	13,2 / 3,6	1,4 / 0,6

⁶² Datos del año 2012. Fuente: IAA, en respuesta a la información solicitada por Mariano Mérida en representación de la Red Pública de Agua de Aragón a fecha 14 de marzo de 2013.

La información del sitio oficial de internet del IAA falta ser actualizada e incluir las **19 depuradoras y 1 colector** puestos en servicio en el año 2012, que según el propio IAA, en respuesta a la información solicitada por Mariano Mérida en representación de la Red Pública de Agua de Aragón, son las siguientes (tabla 17):

Tabla 17. Depuradoras puestas en servicio en el Pirineo Aragonés en el año 2012. Fuente: IAA, en respuesta a la información solicitada por Mariano Mérida en representación de la Red Pública de Agua de Aragón a fecha 14 de marzo de 2013.

Comarca	Municipio	Entidad	Entrada en servicio	Q diseño (m ³ /d)	Q 2012 (m ³ /d)
Alto Gállego	Biescas	Biescas	13/08/2012	2.400	1.911
		Aso de Sobremonte	26/03/2012	80	22
		Escuer	26/03/2012	80	61
		Gavín	13/08/2012	(colector a Biescas)	(colector a Biescas)
		Javierre del Obispo	14/09/2012	20	20
		Oliván	14/09/2012	40	40
		Orós Alto	30/11/2012	20	20
		Orós Bajo	30/08/2012	20	20
		Yosa de Sobremonte	30/04/2012	80	33
	Hoz de jaca	Hoz de jaca	2/11/2012	160	361
	Sabiñánigo	Acumuer	30/07/2012	80	16
		Lárrede	14/09/2012	40	40
		Osán	14/09/2012	20	20
		Senegüé	19/10/2012	80	142
	Yebra de Basa	Sobás	30/08/2012	20	20
		Yebra de Basa	16/10/2012	160	34
Jacetania	Jaca	Abena	30/8/2012	40	40
		Ara	30/05/2012	80	21
		Binué	16/08/2012	8	8
		Navasilla	01/10/2012	8	8

Según datos del 2011, existen 17 entidades (ver tabla 18) objeto de depuración según la RPASD, con una carga superior a 2000 h-e de diseño, que no cuentan con tratamiento de sus aguas residuales (La Calle Marcos, 2013).

Tabla 18. Listado de entidades que tienen una carga superior a 2000 h-e de diseño y no cuentan con tratamiento de sus aguas residuales, en el año 2011. Fuente: La Calle Marcos, (2013).

Comarca	Municipio	Entidad	H-e diseño
Sobrarbe	Aínsa-Sobrarbe	Aínsa	3.717
	Bielsa	Bielsa	3.317
	Broto	Broto	3.017
	Torla	Torla	2.833
Ribagorza	Benasque	Cerler	2.600
	Castejón De Sos	Castejón De Sos	3.000
	Benasque	Benasque	4.333
Jacetania	Aisa	Candanchú	5.400
	Canfranc	Canfranc-Estación	5.467
	Jaca	Puerto Astún	5.833
	Villanúa	Villanúa	9.990

	Valle De Hecho	Hecho	2.117
Alto Gállego	Sallent De Gállego	Tramacastilla De Tena	2.025
		Sallent De Gállego	5.750
		Escarrilla	3.600
		Formigal	5.800
	Panticosa	Panticosa	5.817

En resumen, **en la actualidad existen 30 depuradoras en el pirineo aragonés** (y un colector en Gavín), **27 en funcionamiento y 3 en construcción** (Arén, Benabarre, Castejón de Sos). Según datos del IAA, en respuesta a la información solicitada por Mariano Mérida en representación de la Red Pública de Agua de Aragón a fecha 14 de marzo de 2013, las siguientes obras de depuración se encuentran paralizadas por abandono unilateral de las mismas por parte de la empresa concesionaria: Arén, Benabarre, Castejón de Sos, El Grado.

Actualmente el Gobierno de Aragón espera lograr financiación del Banco Europeo de Inversiones (BEI) para sufragar las obras pendientes del Plan Pirineos. En caso de que no se consiga dicha financiación se pondría en marcha el **"Plan B"**, que reduciría las obras pendientes de 297 a **29, 4 grandes** (Biescas, Sallent, Panticosa y Benasque) y **25 pequeñas, construyendo depuradoras sólo en los municipios con más de 600 h-e**. Esto permitiría depurar las aguas de 20.000 del total de 22.000 habitantes del Pirineo aragonés, para los 2.000 restantes se buscarían formas de depurar el agua que no incluyeran la construcción de depuradoras. Al mismo tiempo dejan la puerta abierta a que en el Plan Pirineos se plantee aplicar nuevos tratamientos de aguas residuales.

El Plan Pirineos se ha dividido ahora en tres zonas. A continuación se listan las actuaciones previstas especificadas en el estudio de La Calle Marcos (2013):

- Zona del río Aragón: se van a hacer en Candanchú, Astún, Castiello de Jaca, Villanúa, Canfranc Pueblo y Canfranc Estación, Ansó, Hecho, Aragüés del Puerto, Salvatierra de Esca, Bailo, Santa Cilia, Berdún y Jasa. Según el periódico Aragón digital⁶³, se han replanteando tres proyectos, con una sola depuradora para Astún-Candanchú, otra en Villanúa-Castiello de Jaca y otra en Canfranc pueblo-Canfranc estación, y se ha decidido que se hagan por separado debido a problemas con los colectores, afecciones en carreteras y por el Camino de Santiago.
- Zona del Río Gallego:
 - o EDAR conjunta para Panticosa-Escarrilla-El Pueyo de Jaca y Tramacastilla-Sandiniés, ya tiene la ubicación asignada y el convenio firmado.
 - o La de Piedrafita
 - o La de Sallent de Gállego-Formigal

En esta parte del río Gallego, están en funcionamiento las de: Jaca, Sabiñánigo, Biescas, Gavín, Avena, Acumuer, Ara, Aso de Sobremonte, Escuer, Yosa de Sobremonte, Binué, Oros Bajo, Javierre del Obispo, Hoz de Jaca, Oliván, Larrede, Navasilla, Oros Alto, Osán, Senegüé, Sobás, Yebra de Basa y Yésero.

⁶³ Noticia del Periódico Aragón Digital, a fecha 8 de octubre de 2013, <http://www.aragondigital.es/noticia.asp?notid=112748&secid=3>

- Zona de los ríos Ara, Cinca y Ésera. En la zona del río Ara, se va hacer en Torla, en Fiscal, Broto, Oto, San Juan de Plan, Labuerda, La Afortunada, Cerler, Sahún, Eriste, Benasque, Vilanova y Sesué. Según datos del IAA, en respuesta a la información solicitada por Mariano Mérida en representación de la Red Pública de Agua de Aragón a fecha 14 de marzo de 2013, los municipios de Plan, Bielsa y las entidades locales menores de Saravillo y Serveto (dentro del municipio de Plan), comunicaron en su momento que no firmarían convenio con el IAA por lo que quedaban fuera del Plan Pirineos. Se construirá una única depuradora para Aínsa y Boltaña. Queda por aprobar el proyecto de Benasque, Sahún, Eriste y Arciles, que en principio iba a ser una única depuradora conjunta, pero Sahún no está de acuerdo o puede que salga del Plan y quede la solución Benasque-Eriste.

2.3.3. Aguas residuales

Las actividades humanas generan aguas residuales que contaminan las masas de agua. La Ley de Aguas de 2001 define la contaminación del agua como “la acción y el efecto de introducir materias o formas de energía, o introducir condiciones en el agua que, de modo directo o indirecto, impliquen una alteración perjudicial de su calidad en relación con los usos posteriores o con su función ecológica”.

Las aguas residuales están compuestas por **aguas residuales domésticas**, que se producen por el metabolismo humano y las actividades domésticas, procedentes de viviendas, comercios e instituciones, y pueden contener *aguas negras* que provienen de inodoros y *aguas grises* provenientes de duchas, lavabos, lavavajillas, lavadoras. En las zonas en las que haya actividad industrial, las aguas residuales proceden también de **aguas industriales** provenientes de industrias que descargan sus vertidos a la red de alcantarillado municipal. Estas aguas deben recibir un tratamiento específico previo a su vertido. Las aguas residuales están también compuestas por **aguas de riego, limpieza pública y aguas de escorrentía pluvial** cuando la red de saneamiento es unitaria⁶⁴.

El agua de los mares y ríos ha sido usada tradicionalmente como medio de evacuación de los desperdicios humanos y los ciclos biológicos del agua aseguraban la reabsorción de dichos desperdicios orgánicos reciclables. Pero en la actualidad, los desperdicios orgánicos se vierten al agua en cantidades mayores y en general ha aumentado la proporción de productos químicos nocivos existentes en los vertidos, los cuales destruyen diversas formas de vida dificultando la biodegradación por los microorganismos del medio acuático (Estrada Gallego, 2010). Al crecer la carga contaminante vertida al río, éste ha dejado de tener capacidad de autodepuración.

Los parámetros habitualmente empleados para medir la presencia de contaminantes del agua residual son los siguientes:

- DQO (Demanda Química de Oxígeno) y DBO₅ (Demanda Bioquímica de Oxígeno a los cinco días): miden la concentración de materia orgánica presente en el agua residual, se expresa en mg O₂/l. Miden el impacto que generaría el vertido sobre los niveles de oxígeno del cauce receptor.

⁶⁴ Red de saneamiento unitaria: las aguas de lluvia son recogidas por el mismo sistema de alcantarillado que recoge y conduce las aguas domésticas e industriales.

- Sólidos en Suspensión (SS): mide el impacto de los sólidos en el cauce receptor. Su acumulación produce turbidez y la formación de fangos.
- Nitrógeno Total (NT) y Fósforo Total (PT): medida de los nutrientes responsables de la eutrofización⁶⁵ del cauce receptor.

Para medir la contaminación de las aguas residuales de una población se emplea el concepto de habitante-equivalente (h-e), definido por la Directiva de tratamiento de aguas residuales como “la carga orgánica biodegradable con una demanda bioquímica de oxígeno de 5 días (DBO₅) de 60 g de oxígeno por día”. Es una unidad de contaminación que hace referencia tanto a los habitantes como a la industria, ganadería, etc., permitiendo comparar cargas contaminantes con independencia del origen de sus aguas residuales.

La siguiente fórmula permite calcular la población equivalente, conociendo el caudal de aguas residuales (Q) generado por una aglomeración urbana y su valor de DBO₅:

$$\text{Población equivalente} = (Q \text{ (m}^3/\text{d)} * \text{Concentración DBO}_5 \text{ (mg/l)}) / (60 \text{ (g DBO}_5/\text{d)})$$

En el caso de que la aglomeración sólo cuente con vertidos biodegradables procedentes del consumo de agua doméstica, la población equivalente será similar a la de derecho. Se estima que la relación población equivalente / población de derecho toma habitualmente un valor de 1,5-2 (Alianza por el Agua, 2008).

Tabla 19. Valores típicos de los principales contaminantes de las aguas residuales. Fuente: Alianza por el Agua, (2008).

Parámetro	Rango habitual
DQO	300-600 mg/l
DBO ₅	200-300 mg/l
SS	150-300 mg/l
NT	50-75 mg N/l
PT	15-20 mg P/l
Grasas	50-100 mg/l
Coliformes totales	10 ⁶ -10 ⁷ (UFC/100ml)

En el Estudio de viabilidad del Plan de Depuración Integral del Pirineo Aragonés (Sodemasa, Gobierno de Aragón), se considera una carga contaminante del efluente medio con DQO de 300 mg/l, DBO₅ de 150 mg/l y SS de 150 mg/l.

Tabla 20. Dotaciones de abastecimiento según número de habitantes de la población. Fuente: Alianza por el Agua, (2008).

Población (habitantes)	Consumos urbanos en litros por habitante y día				
	Doméstico	Industrial	Servicios municipales	Fugas de redes y varios	Total
<1.000	60	5	10	25	100
1.000-6.000	70	30	25	25	150
6.000-12.000	90	50	35	25	200
12.000-50.000	110	70	45	25	250

⁶⁵ Eutrofización: proceso que consiste en el enriquecimiento de las aguas con nutrientes, produciéndose una disminución del oxígeno en las aguas.

50.000-250.000	125	100	50	25	300
>250.000	165	150	60	25	400

En general, entre un 60 y 85% del agua de abastecimiento que se consume se transforma en aguas residuales, en función del agua empleada en regar zonas verdes, la existencia de fugas, su consumo en procesos productivos, etc. (Alianza por el Agua, 2008).

2.3.4. Importancia de depurar las aguas residuales. Impactos ambientales derivados de la ausencia de depuración de aguas

La depuración se considera una necesidad imprescindible puesto que disponer de agua de calidad es esencial para la salud humana, el desarrollo económico, y la protección del medio ambiente. Es responsabilidad de todos los ciudadanos y obligación legal de las administraciones públicas competentes en la materia (Huertas, y otros, 2013).

Es necesario para cumplir con los objetivos fijados por las normativas. Desde el punto de vista ambiental, la contaminación de las aguas puede generar impactos negativos, a veces irreversibles, sobre la flora y fauna asociada a las masas de agua y causar desequilibrios en el ecosistema del entorno. Cuando la materia orgánica y los nutrientes, principalmente nitrógeno y fósforo, están presentes en exceso en el agua, se produce un crecimiento excesivo de algas y plantas que conduce a la eutrofización, es decir, al agotamiento de oxígeno y la muerte de la mayoría de los seres vivos. En caso de existir metales pesados y otros compuestos tóxicos en el agua tiene lugar bioacumulación y en concentraciones elevadas producen envenenamientos. Es necesario retirar los contaminantes de las aguas residuales para dejarlas en un estado adecuado para su retorno al ciclo natural del agua, cumpliendo las exigencias medioambientales.

Concretamente en el pirineo aragonés existen numerosas zonas de especial valor y fragilidad ambiental, y realizar una correcta depuración de las aguas residuales supone beneficios medioambientales, puesto que contribuye a mejorar el estado ecológico de las masas de aguas superficiales y subterráneas, y resulta imprescindible para cumplir con los objetivos fijados por las normativas europea, estatal y autonómica (Sodemasa, Gobierno de Aragón).

Además de los graves problemas ambientales que pueden causar las aguas residuales no tratadas, suponen un riesgo para la salud pública en caso de que se desarrollen organismos patógenos, vectores y hospedadores que pueden transmitir enfermedades o producir infecciones bacterianas.

El hecho de no depurar las aguas contaminadas puede provocar la aparición de fangos y materia flotante, con el consiguiente impacto visual, mal olor y degradación de los lechos de los ríos, condicionar el disfrute del entorno por parte de la población, así como repercutir negativamente en el desarrollo socioeconómico de la población local.

Otro aspecto que pone de manifiesto la importancia de depurar las aguas residuales urbanas es la posibilidad de reutilizar el agua para usos posteriores, suponiendo el uso racional de un recurso limitado.

2.3.5. Legislación ambiental: requisitos a cumplir en la depuración de aguas residuales

Es de vital importancia tener presente que la Directiva Marco del Agua dicta que la valoración ambiental está por encima de la económica, por lo que debe cumplirse la legislación ambiental vinculada a la depuración de aguas residuales antes que tener en cuenta la valoración económica.

Además de la Directiva Marco, la depuración de aguas residuales debe tener en cuenta las siguientes normas medioambientales: Real Decreto Legislativo 1/2008, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Evaluación de Impacto Ambiental de proyectos, Ley 42/2007, del Patrimonio Natural y de la Biodiversidad, Ley 7/2006, de Protección Ambiental de Aragón, Ley 6/2001, de Ordenación y Participación en la Gestión del Agua en Aragón, Decreto 181/2006, por el que se aprueba el Catálogo de Especies Amenazadas de Aragón, Directiva Hábitats 92/43/CEE, relativa a la Conservación de hábitats naturales y de la flora y fauna silvestres y Directiva 2001/42/CE, relativa a la evaluación de los efectos de determinados planes y programas en el medio ambiente, conocida como Directiva sobre la Evaluación Ambiental Estratégica (EAE).

La Directiva Hábitats integra la EAE con la «adecuada evaluación» exigida para los programas, planes o proyectos que puedan afectar de forma apreciable a los hábitats naturales, flora y fauna silvestres. La Directiva sobre EAE tiene como objetivo someter a evaluación medioambiental los planes y programas que puedan afectar significativamente al medioambiente. La construcción de las depuradoras debe llevar asociado una evaluación de impacto ambiental (EIA), realizada por un técnico ambiental independiente del proceso de construcción de la depuradora y por lo tanto está sometida a declaración de impacto ambiental.

El Pirineo aragonés está dentro de la zona biogeográfica Alpina y tiene una alta protección ambiental. La Red Natura 2000 supone en Aragón un 28,84 % de la superficie de la comunidad, existen gran número de Lugares de Interés Comunitario (LIC) y Zonas de Especial Protección para las Aves (ZEPA), que contribuyen a mantener la biodiversidad y la conservación de los hábitats, fauna y flora de la zona. Estos lugares pueden verse afectados por los proyectos de la RPASD, por lo que además de someter a EIA los proyectos derivados de la RPASD (cosa que se cumple en ciertas ocasiones), la propia RPASD debe someterse a EAE.

La Directiva 91/271 sobre el tratamiento de las aguas residuales urbanas, exige a los países miembros la elaboración de un Plan Nacional de Depuración, que incluya lo siguiente:

- Zonificación del territorio:
 - o **Zonas sensibles**, en las que se dé una de las siguientes condiciones: eutrofización, exceso de nitratos, necesidad de un tratamiento adicional para cumplir con otras directivas del consejo. En el pirineo aragonés, se han declarado zona sensible en la cuenca hidrográfica del Ebro solamente el embalse de Barasoa o Joaquín Costa en la comarca de la Ribagorza. Jaca

(Huesca) cuenta con más de 10.000 h-e, y está afectada por la declaración de zonas sensibles del embalse de Yesa (Zaragoza).

- **Zonas menos sensibles:** no son de aplicación en Aragón
- **Zonas normales:** en Aragón son todas las zonas que no sean sensibles
- **Límites de emisión:** depende de la capacidad de dilución de medio ambiente receptor. La Directiva 91/271 regula en función de la calidad del cauce receptor (define tratamiento mínimo el adecuado) y fija límites de emisión según si la zona es sensible o no.
- **Tipos de tratamiento:** la Directiva 91/271 no fija la tecnología a emplear, sino que cada estado selecciona la que mejor se adapta a su contexto.
 - **Adecuado:** es el que permite que, después del vertido, las aguas residuales cumplan los objetivos de calidad pertinentes y las disposiciones de la Directiva 91/271 y del resto de Directivas.
 - **Primario:** tratamiento mediante proceso físico o químico que incluya sedimentación de SS (reducción >50% de los SS) y reducción de la DBO₅ (al menos en un 20%). Puede ser: fosa séptica, tanque Imhoff, decantación primaria, tratamiento físico-químico (precipitación-floculación-decantación).
 - **Secundario:** incluye un tratamiento biológico (microorganismos descomponedores de compuestos orgánicos) y sedimentación secundaria (separación de lodos del efluente) u otro proceso que cumpla los requisitos de la tabla 30. Se consideran los siguientes: procesos biopelícula (lechos bacterianos, filtros percoladores, biodiscos), tratamientos convencionales (fangos activos, aireación prolongada).

Tabla 21. Requisitos a cumplir por los efluentes de estaciones de tratamiento secundarias fijados por la Directiva 91/271 sobre tratamiento de aguas residuales urbanas. Fuente: RASD 2009. BOA 125.

Parámetro	Concentración	% de reducción
DBO ₅	25 mg/l O ₂	>70-90
DQO	125 mg/l O ₂	>75
SS	35 mg/l (>10.000 h-e)	>90
	60 mg/l (<10.000 h-e)	>70

- Terciario: cumple, además de los requisitos del tratamiento secundario, los especificados en la tabla 22.

Tabla 22. Requisitos a cumplir por los efluentes de estaciones de tratamiento terciarias fijados por la Directiva 91/271 sobre tratamiento de aguas residuales urbanas. Fuente: RASD 2009. BOA 125.

Parámetro	Concentración		% de reducción
Fósforo total	2 mg/l P	10.000<h-e<100.000	>80
	1 mg/l P	100.000< h-e	>80
Nitrógeno Total	15 mg/l N	10.000<h-e<100.000	>70-80
	10 mg/l N	100.000<h-e	>70-80

El tamaño de población de cada zona condiciona el tipo de tratamiento que según la Directiva 91/271 debe ser aplicado (tabla 23).

Tabla 23. Tratamiento en función del tamaño de la población fijado por la Directiva 91/271 sobre tratamiento de las aguas residuales urbanas. Fuente: RASD 2009. BOA 125.

	h-e<2.000	2.000<h-e<10.000	h-e>10.000
En todos los casos	Tratamiento adecuado		
Zonas normales	Tratamiento adecuado	Tratamiento secundario	
Zonas sensibles		Tratamiento secundario	Tratamiento terciario

En el pirineo aragonés sólo faltan de depurar zonas normales, para las cuales la directiva 91/271 estipula un tratamiento adecuado para menos de 2000 h-e y un tratamiento secundario para entre 2000 y 10000 h-e.

3. PROPUESTA DE ALTERNATIVAS PARA EL SANEAMIENTO EN EL PIRINEO

3.1. ANÁLISIS DE OPCIONES TÉCNICAS

El tratamiento de las aguas residuales conlleva su recogida, tratamiento y evacuación. En un municipio, la recogida del agua se realiza mediante el alcantarillado, el tratamiento se realiza en la estación depuradora y la evacuación se lleva a cabo mediante una red que une la depuradora con el vertido de restitución. Normalmente el sistema de alcantarillado es de tipo unitario, y recoge aguas de lluvia, las usadas en la limpieza municipal, las fecales y las residuales de industrias. También existen sistemas de alcantarillado separativos que constan de redes independientes para el agua de lluvia y el resto de las aguas de vertido (Fernández González, 2005).

Es importante dotar de aliviaderos a las estaciones depuradoras, puesto que evitan las avenidas de agua en las mismas y desvían el exceso de agua que no entraría en el colector. Estos pueden situarse en un punto intermedio del colector, próximo a un medio o cauce receptor, a la entrada de la propia depuradora, o tras el pretratamiento (Fernández González, 2005).

En la depuración de aguas residuales éstas se someten a una serie de procesos físicos, químicos y biológicos con el fin de reducir sus contaminantes y permitir su vertido, minimizando los riesgos para el medio ambiente y la salud (Huertas, y otros, 2013).

El número y tipo de tratamiento de las aguas residuales depende de su origen y de su destino final. La eliminación de los contaminantes en los sistemas de depuración de las aguas residuales se realiza por medio de etapas ordenada secuencialmente, y a medida que se aplican sucesivamente proporcionan un nivel de tratamiento creciente de las aguas y consecuentemente más costosa resulta la depuración, pudiendo realizarse un pretratamiento, tratamiento primario, tratamiento secundario y tratamiento terciario.

3.1.1. Técnicas de depuración disponibles

A continuación se presentan los diferentes tipos de tratamiento y técnicas de depuración disponibles. En el **Anexo VI** se presenta un estudio más detallado de las características de cada una de ellas.

EL PRETRATAMIENTO

Es el proceso inicial, consistente en eliminar la mayor cantidad posible de contaminantes (sólidos gruesos, arenas, grasas y flotantes) que por naturaleza o tamaño puedan dar problemas posteriormente en las instalaciones de la estación depuradora. Se produce gracias a procesos físicos, siendo las operaciones que forman el pretratamiento: separación de grandes sólidos, desbaste, tamizado, desarenado, desengrasado.

En general los colectores de aguas residuales son unitarios y recoger tanto las aguas de lluvia, como las usadas en la limpieza municipal, con la basura que se arrastran. Los colectores deben tener un diseño sencillo, deben ser amplios y robustos.

Es común realizar en una misma etapa o equipo el desarenado y el desengrasado. Ambos tienen un mantenimiento consistente en la limpieza periódica de las arenas y grasas generadas.

El pretratamiento apenas tiene impacto visual y sonoro y la producción de olores se evita retirando periódicamente los residuos extraídos. Los episodios de lluvias afectan al funcionamiento de estos sistemas al aumentar los caudales y la cantidad de gruesos que transportan las aguas residuales.

Técnicas de depuración disponibles

PRETRATAMIENTO: procesos físicos iniciales para eliminar: gruesos, arenas, grasas y flotantes

- **Desbaste:** elimina elementos voluminosos. Rejas, bombas dilaceradoras, tamices
- **Desarenado:** eliminan materia de >densidad (arenas >0,2mm)
- **Desengrasado:** elimina grasas y materias flotantes

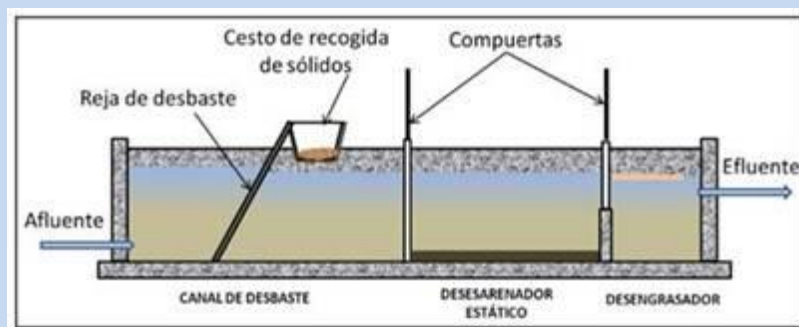


Figura 14. Esquema de técnicas de pretratamiento. Fuente: elaboración propia.

TRATAMIENTO PRIMARIO

El principal objetivo de este tratamiento es la remoción de sólidos sedimentables y flotantes. Se produce gracias a procesos físicos y químicos: decantación primaria y tratamiento físico-químico (coagulación/floculación).

Los tanques de sedimentación o decantadores primarios sirven para decantar y sedimentar el agua residual. Estos disminuyen la velocidad del agua a un valor suficientemente bajo como para que parte de las sustancias que ésta lleva se sedimenten o floten en superficie. Los sólidos decantados se bombean a los sistemas de tratamiento y evacuación de fangos y los flotantes se eliminan con barrederas de superficie y se entierran o se llevan al vertedero.

- **Fosa séptica**

Es un sistema sencillo de tratamiento de aguas residuales que tiene por objetivo eliminar los sólidos del agua residual. Ésta se compartimenta en una parte de digestión, donde se separan los sólidos flotantes, incluyendo aceites y grasas, y otra parte de decantación, donde sedimentan los sólidos y se acumulan en el fondo.

- **Tanque Imhoff**

Es un depósito con dos zonas diferenciadas por una estructura, una superior de sedimentación, en la que se decantan los sólidos, y una inferior de digestión, donde se almacenan y digieren los sólidos decantados. Las zonas se encuentran separadas para evitar el paso de los gases de la zona de digestión a la de sedimentación. Actualmente no se construyen, y han sido sustituidos por los tanques Emscher.

- **Tanque Emscher**

Combina la sedimentación y la digestión de fangos en dos compartimentos. En el superior se produce la decantación y en el inferior la digestión anaerobia. A diferencia de los Imhoff, este sistema no se colmata, puesto que tiene un sistema de extracción de fangos.

- **Decantador primario**

Tiene la función de eliminar la mayor parte de los sólidos en suspensión del agua gracias a la acción de la gravedad. Suelen enterrarse y son de tipo estático (sin elementos mecánicos) o dinámico (con elementos electromecánicos para la recogida de flotantes y fangos).

TRATAMIENTO PRIMARIO: remoción sólidos sedimentables y flotantes
Mediante decantación 1ria y tratamientos físico-químicos de coagulación/ floculación

- **Fosa séptica (FS):** con una parte de digestión y otra de decantación. En viviendas aisladas o <250 h-e
- **Tanque Imhoff (TI):** una parte de sedimentación y otra de digestión. Enterrado
- **Tanque Emscher (TE):** ventaja no se colmata
- **Decantador primario (DP):** genera fangos a extraer con frecuencia

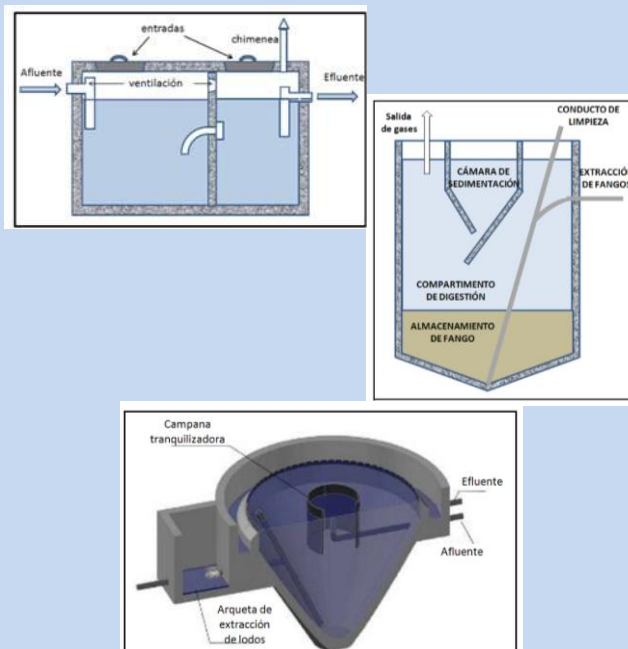


Figura 15. Esquema de técnicas de tratamiento primario. Fuente: elaboración propia.

TRATAMIENTO SECUNDARIO

Normalmente sigue al primario, su objetivo es la eliminación de la materia orgánica biodegradable disuelta o en forma coloidal, así como el resto de sólidos y parte de los nutrientes (20-30%) presentes en el agua. Se produce gracias a procesos biológicos de degradación bacteriana y decantación secundaria.

3.1.1.1. Depuración convencional

En general, los grandes núcleos de población depuran sus aguas mediante sistemas EDAR convencionales. Éstos presentan la ventaja de poder tratar gran cantidad de agua en una superficie de terreno pequeña y la desventaja de conllevar un alto coste energético y económico.

Las técnicas más desarrolladas en las plantas de depuración urbanas son las basadas en procesos biológicos intensivos, consistentes en localizar la planta en una superficie reducida e intensificar los fenómenos de eliminación de la materia orgánica que ocurren en la naturaleza (Dirección General del Medio ambiente de la Comisión Europea, 2001).

A continuación se presentan los principales métodos convencionales:

Bacterias fijas a un soporte:

- **Lecho bacteriano o filtro percolador:** la depuración tiene lugar mediante procesos aerobios con biomasa inmovilizada. Constan de un reactor biológico o lecho bacteriano, un decantador secundario o clarificador, y recirculación del agua clarificada.
- **Biodisco o contactor biológico rotativo (CBR):** Consiste en un eje alrededor del cual giran unos discos semisumergidos en los que se crea una biopelícula de microorganismos depuradores. Los discos rotan para que la biomasa fijada se oxigene. Permiten tratar aguas residuales e industriales. El agua debe pasar por dos elementos: contactor y decantador secundario o clarificador.

Bacterias en suspensión: en el agua o en un caldo de cultivo. La depuración la realizan los microorganismos aerobios que se alimentan de materia orgánica, nutrientes, y oxígeno. El oxígeno proviene del aire o de un gas enriquecido en oxígeno, y se suministra diluido en el agua, metiendo grandes cantidades de aire con el consecuente consumo energético.

- **Fangos activos o lodos activados:** es un proceso biológico consistente en el desarrollo de un cultivo bacteriano disperso en balsas de aireación con un depósito agitado, aireado y alimentado con el agua residual. En el proceso se mezclan las aguas residuales con lodos bacteriológicamente muy activos, y los microorganismos depuran el agua. Posteriormente se separan las fases "agua depurada" y "lodos depuradores". Este proceso es una intensificación de los procesos de autodepuración que existen en la naturaleza, empleando elevadas densidades de microorganismos.

Dentro de los fangos activos se pueden distinguir los siguientes tipos de sistemas:

- **Aireación prolongada (AP) u oxidación total:** consta de dos cámaras separadas: reactor biológico y decantador secundario.
 - **Reactor secuencial (SBR):** es una variante del tratamiento de aireación prolongada, en el que hay un único depósito, reactor, donde ocurre tanto la degradación de contaminantes como la clarificación del efluente.
- **Decantadores secundarios o tanques de sedimentación final:** decantan los precipitados producidos por tratamientos químicos de adición de floculantes. Suelen acompañar a los reactores biológicos en las EDAR. Buscan separar el agua tratada, de la biomasa que escapa con ella.

TRATAMIENTO SECUNDARIO: eliminación de materia orgánica, sólidos, parte de nutrientes. Mediante **procesos biológicos de degradación bacteriana y decantación secundaria**

Depuración convencional (intensiva)

- En gen. para **grandes núcleos** de población
- Ventaja: tratan mucha agua en poca superficie
- Desventajas: alto coste, poca integración paisajística

Lecho bacteriano (LB) : AR corre por un soporte con microorganismos depuradores, y el exceso de fangos sedimenta en un **decantador zrio**



Biodisco: discos semisumergidos con biopelícula de microorganismos



Fangos activos (FA): balsas de aireación con lodos bacteriológicamente activos

- **Aireación prolongada (AP)** 2 cámaras

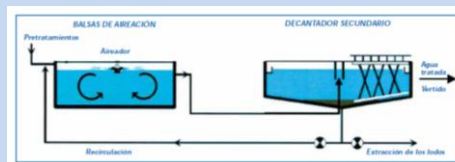


Figura 16. Esquema de técnicas de tratamiento secundario basadas en sistemas de depuración convencional. Fuente: elaboración propia.

3.1.1.2. Depuración basada en sistemas ecológicos

La depuración basada en sistemas ecológicos, se llama con frecuencia depuración biológica, sistemas blandos no convencionales o métodos extensivos para el tratamiento de aguas residuales. Se opta por llamarles sistemas de depuración basada en sistemas ecológicos por sus características de integrador de elementos, ambientales y socioeconómicos, y por ser reproductores de procesos que se dan en la naturaleza.

Estos sistemas de depuración han existido siempre en la naturaleza, pero antes había menos población y no se vertía tanta carga contaminante a los cursos de agua. La depuración basada en sistemas ecológicos trata de imitar a la naturaleza y aplicar la tecnología de tal forma que se depure de manera eficiente en extensiones mucho menores de lo que lo hacen las aguas en la naturaleza.

Estos sistemas incluyen procesos aplicados en los tratamientos convencionales: sedimentación, filtración, precipitación química, intercambio iónico, degradación biológica, etc., y procesos propios de los tratamientos naturales: fotosíntesis, foto oxidación, asimilación por parte de las plantas, etc. (Huertas, y otros, 2013).

Estas técnicas se desarrollaron en diferentes países para poblaciones de menos de 500 h-e y posteriormente se han difundido con éxito y son especialmente indicadas para pequeñas y medianas aglomeraciones, que no superan los 5.000 h-e, pudiendo aplicarse excepcionalmente a poblaciones superiores a 5.000 h-e. Si la población alcanza un valor cercano a 4.000 h-e, conviene comparar sus costes de inversión y

gestión con los de los sistemas de depuración convencional. Conforme crece la complejidad de una estación de depuración basada en sistema ecológicos se complica su gestión (Dirección General del Medio ambiente de la Comisión Europea, 2001).

Son frecuentemente empleadas en núcleos rurales, pequeñas y medianas comunidades, generalmente con suelo abundante y barato, debido a que tienen un mínimo gasto de energía, los costes de inversión son generalmente bajos, los de mantenimiento son simples y baratos, requiriendo personal menos especializado que los sistemas de depuración convencionales y presentan robustez frente a oscilaciones de caudal y carga.

Estos sistemas de tratamiento suelen ocupar más superficie que los sistemas intensivos convencionales, pero no comprometen la eficacia en la depuración (Macrófitas flotantes en el tratamiento de aguas residuales: una revisión del estado del arte, 2012), pues suelen ser igualmente eficaces en la eliminación de materia orgánica e incluso más efectivos en la remoción de elementos patógenos y nutrientes, como el nitrógeno y el fósforo (Fernández González, 2005).

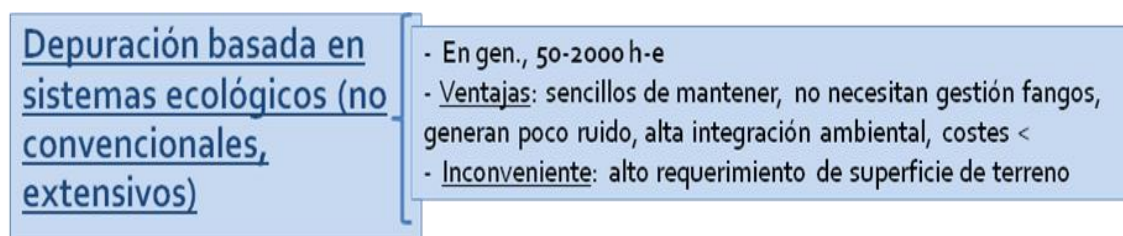


Figura 17. Esquema de las características básicas de la depuración basada en sistemas ecológicos. Fuente: elaboración propia.

A continuación se describen los principales sistemas empleados de depuración basada en sistemas ecológicos.

Hay una serie de **sistemas en desuso**, basados en sistemas de infiltración en el terreno.

- **Lechos filtrantes:** lecho térreo o no, por el que atraviesa agua residual, con más o menos carga orgánica.
 - Un tipo de lecho filtrante son los **filtros intermitentes de arena**: son lechos poco profundos, donde el agua circula verticalmente y de forma intermitente a través del lecho filtrante, una vez pretratada para evitar la colmatación del lecho. Sobre el lecho se desarrolla una película bacteriana. Predominan los mecanismos de filtración, oxidación biológica y adsorción⁶⁶. No depuran propiamente, pero rebaja la materia orgánica y elimina partículas sólidas en el agua de salida. Este sistema de depuración puede utilizarse tanto como **tratamiento secundario como terciario**.

⁶⁶ Adsorción: fijación en la superficie de las partículas.

○ **Infiltración percolación:**

En estos tratamientos el agua pasa a través de un medio granular que sirve de soporte para la fijación de bacterias, responsable de la degradación y eliminación de los contaminantes. Debe existir un pretratamiento del agua residual.

Un grupo de estos sistemas son los tratamientos de aguas residuales mediante aplicación superficial al terreno. Se pueden distinguir los siguientes tipos de sistemas de aplicación al terreno:

- **Zanjas filtrantes:** el agua residual se infiltra en el terreno a través de zanjas de arena, grava y tierra vegetal de pequeña profundidad y anchura inferior a 1 m.
- **Filtros verdes:** se aplican en aguas residuales mediante el riego de una superficie de terreno generalmente con vegetación, actuando el suelo y la rizosfera de las plantas como principales elementos depuradores. En ellos actúan tanto las plantas superiores como los microorganismos que favorecen la degradación de materia orgánica.

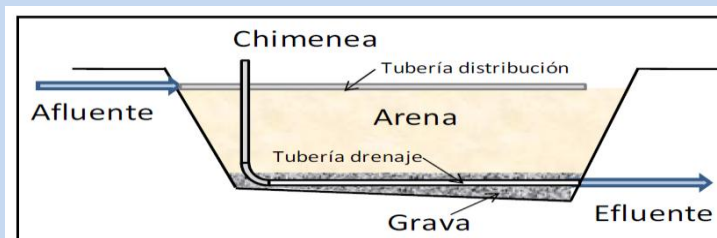
Los principales tipos de filtros verdes son los siguientes:

- **Riego sobre superficies herbáceas**
- **Escorrentía sobre cubierta vegetal.**
- **Filtros verdes de especies leñosas:** chopos (*Populus* sp.) y sauces (*Salix* sp.).

Sistemas en desuso, basados en infiltración en terreno

Lechos filtrantes.

Agua circula vertical e intermitente.
Sensible a sobrecargas



Filtros verdes: se riega un
Terreno con vegetación
(chopos, sauces). Peligro
contaminar aguas subterráneas



Figura 18. Esquema de sistemas de depuración basados en infiltración en el terreno.

Fuente: elaboración propia.

Dentro de las técnicas basadas en sistemas ecológicos, o métodos extensivos están los **FITOSISTEMAS O TÉCNICAS DE FITODEPURACIÓN**, que utilizan la energía solar a través de procesos biológicos naturales, como es la fotosíntesis realizada por las algas o las plantas acuáticas. Estos sistemas buscan imitar las capacidades de autodepuración de los hidrosistemas naturales que cuentan con plantas acuáticas, y han sido ampliamente utilizados como sistemas de humedales para el tratamiento de aguas residuales (Macrófitas flotantes en el tratamiento de aguas residuales: una revisión del estado del arte, 2012).

Son sistemas que no dependen de la energía convencional empleada en las EDAR convencionales y su consumo energético es bajo, por lo que su coste asociado es bajo. Sin embargo, requieren mayor superficie de terreno por habitante, tal que permita a las algas o plantas acuáticas emplear adecuadamente la energía solar y puedan producir el oxígeno necesario para que los microorganismos crezcan y degraden materia orgánica.

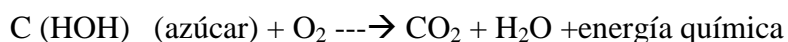
Las algas y vegetales superiores tienen en el interior de sus células unos orgánulos especializados en captar la energía solar y transformarla en química, que será utilizada en sus reacciones metabólicas para formar biomasa y realizar sus funciones vitales. En este proceso se rompen las moléculas de agua para dar oxígeno molecular e hidrógeno, que reduce el carbono mineral del CO_2 y lo transforma en carbono orgánico. El oxígeno desprendido en la fotosíntesis lo emplean los seres heterótrofos como aceptor final de electrones en las reacciones del catabolismo que degradan la materia orgánica (Fernández González, 2005).

Las reacciones que se dan son las siguientes:

Fotosíntesis:



Catabolismo:



Es preciso conocer el funcionamiento de los sistemas de fitodepuración para gestionarlos adecuadamente. Entre los aspectos de relevancia a conocer está el hecho de que la eliminación de la contaminación proviene principalmente de la actividad de los microorganismos asociados a las helófitas, mientras éstas juegan un papel secundario en la eliminación de la materia orgánica. Es importante elegir correctamente las especies a emplear, puesto que presentan distintos grados de tolerancia a los climas cálidos y fríos.

Dentro de los fitosistemas los tipos usados tradicionalmente en núcleos rurales son:

- **Filtros verdes:** cuyas características se han expuesto dentro de los sistemas de infiltración-percolación.
- **Lagunajes o lagunas de estabilización:** consisten en realizar vertido de aguas residuales en varias lagunas conectadas en serie, en las que tiene lugar la depuración mediante procesos físicos, químicos y biológicos. Según las características de las

lagunas, puede utilizarse tanto para **tratamiento primario como secundario y terciario**.

Las lagunas pueden ser naturales, cuando se utilizan lagunas existentes en la naturaleza para efectuar el vertido, o artificiales, si se construyen para depurar aguas residuales.

En función de la profundidad de las lagunas podemos distinguir los siguientes tipos:

- Anaerobias (**tratamiento primario**): son profundas, entre 2,5-5 m como mínimo.
- Facultativas (**tratamiento secundario**): profundidad entre 1,2-2,5 m.
- De maduración (**tratamiento terciario**): de escasa profundidad, entre 0,6 y 1,2 m.

- **Humedales:**

Según Fernández González (2005), los humedales son zonas encharcadas en las que prolifera una vegetación acuática, llamadas helófitas, perfectamente adaptada a tener todos o parte de sus órganos sumergidos en el medio acuoso.

Los humedales pueden ser naturales o artificiales, y de inundación temporal o permanente. Los humedales naturales han sido sistemas tradicionales de depuración de aguas residuales.

Estos sistemas logran niveles de tratamiento consistentes con bajos consumos energéticos y bajo mantenimiento. En ellos tiene lugar de manera simultánea lo que en una depuradora convencional se hace de manera secuencial. Por un lado el pretratamiento, el desbaste, gracias a que los tallos de las plantas frenan la velocidad del agua y facilitan la sedimentación de partículas gruesas. Por otro lado, está la acción depuradora de las macrófitas acuáticas debida a la transferencia de oxígeno a la columna de agua, oxigenan la rizosfera, hacen de soporte de microorganismos en la rizosfera, facilitan la filtración y la adsorción de los constituyentes del agua residual, permiten la sedimentación y retención de sólidos en suspensión, destruyen patógenos, absorben nutrientes minerales y metales pesados, detoxifican compuestos químicos nocivos, y controlan el crecimiento de algas al limitar la penetración de luz solar. En las capas más próximas a los rizomas se dan condiciones aerobias que posibilitan la oxidación de compuestos nitrogenados y sulfurados gracias a la acción de los microorganismos, así como la mineralización de materia orgánica. Pero la absorción neta de nutrientes por parte de la vegetación para su crecimiento es casi insignificante y la depuración de las aguas proviene principalmente de los microorganismos que crecen sobre la rizosfera de las helófitas formando biopelículas. Los microorganismos transforman el nitrógeno en formas biológicamente útiles y convierten el fósforo de formas insolubles a solubles, disponibles para las plantas (Estrada Gallego, 2010).

La vegetación empleada son **plantas helófitas**. El Diccionario de Botánica de Pius Font Quer (1985), define a las helófitas como las plantas anfíbias que tienen una parte sumergida y otra aérea, así pues, arraigan en el suelo sumergido o encharcado y alargan su tallo que asoma en el aire. Son sinónimos de helófitas los siguientes: **plantas palustres, macrófitas emergentes o macrófitas anfíbias**. Frecuentemente se utiliza el

término macrófita como sinónimo de planta acuática, pero una macrófita es cualquier planta superior, visible a simple vista.

Las helófitas tienen unas características anatómicas y fisiológicas que les permiten vivir en los humedales, con las raíces sumergidas en el agua, mientras la mayoría de plantas mueren cuando hay un suelo encharcado puesto que sus raíces no pueden respirar. Estas plantas están especializadas en transferir oxígeno de la atmósfera a la zona radicular y de ésta al agua, posibilitando la eliminación de los contaminantes del agua. La morfología de las macrófitas flotantes varía según la especie. Plantas como la enea, también conocida como espadaña, tienen sus hojas tabicadas, formadas por conductos.

Las plantas propias de humedales que se emplean en fitodepuración son pocas. En los sistemas más extendidos, los de flujo superficial y subsuperficial, se emplean especies **helófitas o emergentes**, como las eneas (*Typha* spp.) y el carrizo (*Phragmites australis*), e **higrófitos**, como los juncos (*Scirpus* spp.). En los sistemas estrictamente acuáticos de tratamiento de aguas residuales se emplean plantas **flotantes** de flotación libre, como el jacinto de agua (*Eichornia crassipes*) y la lenteja de agua (*Lemna* spp.) (Fernández González, 2005). En el **Anexo VII** se pueden ver especificaciones relativas a las principales especies empleadas en fitodepuración.

Naturales

Los humedales naturales pueden ser muy complejos, con una capa de agua que cubre el suelo y aguas subterráneas más o menos próximas a la superficie, y vegetación a diferentes niveles (sumergida, flotante y emergente).

A través de diferentes procesos, los microorganismos del suelo y de los rizomas de las plantas degradan la materia, las plantas asimilan y retienen los nutrientes, y la grava y el tejido vegetal retiene los metales del agua (Estrada Gallego, 2010).

Artificiales o construidos

La observación de la mejora en la calidad del agua en humedales naturales llevó al desarrollo de humedales artificiales para tratar de reproducir los beneficios de calidad del agua y hábitat. Los humedales artificiales son sistemas pasivos de depuración, generalmente construidos con menos de un metro de profundidad, con plantas propias de zonas húmedas, y en los que los procesos de descontaminación se realizan simultáneamente por mecanismos de depuración físicos, químicos y biológicos.

Son humedales con un gran potencial para tratar aguas contaminadas (Estrada Gallego, 2010). Se han empleado en muchos países para el tratamiento de aguas residuales domésticas e industriales. Se han utilizado como **tratamiento secundario y terciario** de aguas residuales urbanas, de irrigación, depuración de lixiviados, tratamientos de purines, tratamiento de residuos de tanques sépticos y para recuperar humedales eliminando metales pesados y sustancias eutrofizantes de ríos y embalses contaminados.

Es una alternativa a los sistemas de depuración convencional principalmente debido a su bajo consumo energético, su baja producción de residuos, su bajo impacto

sonoro y su buena integración paisajística, su robustez, y su resistencia a variaciones de carga y caudal, siempre y cuando no se supere la capacidad de diseño (Estrada Gallego, 2010). Son sistemas con muy buena integración en el entorno. Atraen la fauna silvestre, tanto de especies deseables como indeseables. Los mosquitos pueden ser parte integral de la red de alimentos ecológicos, pero suelen considerarse indeseables puesto que son posibles vectores transmisores de enfermedades.

En el **Anexo VIII** se detallan recomendaciones para diseñar y mantener un humedal artificial.

Fitosistemas

- **Imitan** a la naturaleza. **Emplean algas o plantas acuáticas.** Se dan procesos de depuración físicos, químicos y biológicos
- Ventaja: bajo coste y consumo energético
- Inconveniente: requieren mayor superficie de terreno, frío puede disminuir el rendimiento

Lagunajes :

- **Anaerobias** (trat. primario): profundas, mín 2,5-5 m
- **Facultativas** (trat. Secundario): profundidad 1,2-2,5 m
- **De maduración** (trat. terciario): escasa profundidad 0,6-1,2 m

Humedales: zonas encharcadas donde crecen plantas **helófitas o macrófitas emergentes, adaptada** a tener todos o parte de sus órganos **sumergidos en agua**, como enea (*Typha* sp.), carrizo (*Phragmites* sp.), junco (*Scirpus* sp.)

- **Naturales**
- **Artificiales:** <1m prof (**tratamiento secundario y terciario**)




Figura 19. Esquema de sistemas de depuración basados en fitosistemas. Fuente: elaboración propia.

A continuación se detallan los tipos de humedales artificiales en función del movimiento del agua y la vegetación, especificando sus características más relevantes.

- **Humedal artificial con plantas emergentes en flujo superficial (HAFS):** las plantas acuáticas están enraizadas en el fondo del humedal y el agua fluye por la superficie a través de las hojas y tallos de las plantas, donde se desarrolla una película bacteriana encargada de eliminar contaminantes. Es el sistema habitual en un arroyo donde crecen plantas.

Se emplea principalmente como **tratamiento terciario**, al recibir efluentes que han pasado anteriormente por un tratamiento secundario (Huertas, y otros, 2013).

- **Humedales de plantas emergentes de flujo subsuperficial (HAFSS):** consisten en canales, donde la lámina de agua fluye por debajo de la superficie

atravesando un lecho relleno de un sustrato poroso, arena o grava, donde crecen las plantas, que sólo tienen las raíces y rizomas en contacto con el agua.

Se emplean principalmente como **tratamiento secundario**, precedidos por tratamientos primarios, como fosas sépticas, tanques Imhoff, o lagunas, que eliminen la mayor parte de sólidos sedimentables y sustancias que puedan provocar la colmatación del lecho (Huertas, y otros, 2013). En Europa, son los sistemas más empleados para tratar los efluentes de fosas sépticas (Estrada Gallego, 2010).

Los humedales de flujo subsuperficial se clasifican según el sentido de circulación del agua en horizontales o verticales. Ambos tipos pueden combinarse, y eliminar más eficientemente el nitrógeno al sucederse procesos de nitrificación y desnitrificación.

- **Humedal Artificial con plantas emergentes en Flujo Subsuperficial Horizontal**

En este tipo de sistemas el agua circula horizontalmente a través del medio granular, rizomas y raíces de las plantas.

- **Humedal Artificial con plantas emergentes en Flujo Subsuperficial Vertical**

En éste el agua circula en sentido vertical a través del lecho y de manera intermitente mediante descargas controladas.

- **Humedal Artificial con plantas flotantes en flujo libre**

Se construyen estanques o canales con profundidad entre 0,4 y 1,5 m, en los que se desarrollan especies que son flotantes de forma natural, como el jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*) y la lenteja de agua (*Lemna* spp.), que depuran las aguas residuales.

- **Humedal Artificial con plantas emergentes en flujo libre**

Este sistema utiliza plantas de tipo emergente, que de forma natural se encuentran enraizadas en el terreno, pero que aquí se transforman artificialmente en flotantes, formando un filtro verde de macrófitas en flotación.

Existen dos tipos:

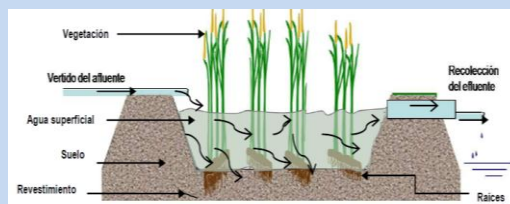
- **Filtro de macrófitas en flotación (FMF):** las plantas flotan en la superficie del humedal gracias a una estructura artificial. Al estar el tapiz en superficie se airean las raíces, pero se pierde la aireación procedente de la superficie del agua.
- **Filtro de macrófitas semisumergido (FHS):** las plantas flotan a cierta profundidad, gracias a lastrar el tapiz desarrollado sobre estructuras artificiales. Este sistema aprovecha las dos vías de intercambio de oxígeno, puesto que existe lámina de agua en superficie y las raíces de las plantas estén completamente en contacto con el agua.

HA con plantas emergentes en flujo superficial (HAFS): plantas enraizadas en fondo y **agua fluye en superficie**.

Tratamiento terciario.

Ventajas: no se colmata

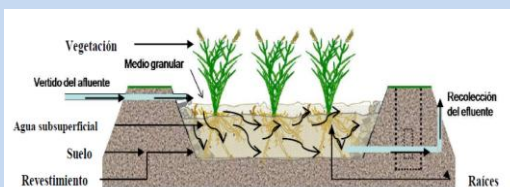
Inconveniente: poca capacidad depuración, posibles vectores



HA de plantas emergentes de flujo subsuperficial (HAFsS): el **agua** atraviesa un **lecho poroso**. Tratamiento secundario

Ventaja: + eficiente, requiere < superficie

Inconveniente: >coste, colmatación



- **Horizontal (HAFsSH):** soporta mejor bajas temperaturas

- **Vertical (HAFsSV):** Ventaja: mayor capacidad de tratamiento. Inconveniente: más fácil de colmatar

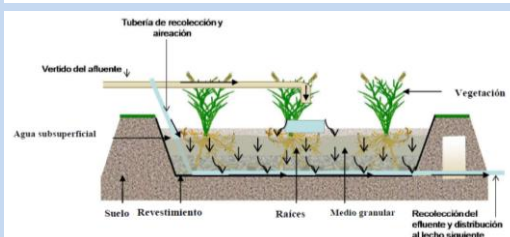


Figura 20. Esquema de sistemas de depuración basados en humedales artificiales de plantas emergentes. Fuente: elaboración propia.

HA con plantas flotantes en flujo libre: Jacinto de agua, lenteja de agua

Ventaja: gran superficie de contacto entre raíces y AR

Inconvenientes: crecen muy rápido, retirada constante

HA con plantas emergentes en flujo libre: que se hacen flotar artificialmente. Combina **ventajas sistemas flotantes** y **elimina inconvenientes de filtros de plantas emergentes que enraízan en terreno**

- **Filtro de macrófitas en flotación (FMF):** flotan en superficie. Se airean las raíces, pero se pierde la aireación de la superficie del agua. **Resuelve el problema de colmatación**

- **Filtro de macrófitas semisumergido (FHS):** plantas flotan a cierta profundidad, al lastrar el tapiz vegetal. Ventaja: > aporte O₂, es más fácil crear tapiz



(FHF Fabara. Jesús Fernández, Foro Ainsa 2012)

Figura 21. Esquema de sistemas de depuración basados en humedales artificiales de plantas en flujo libre (flotantes y emergentes). Fuente: elaboración propia.

TRATAMIENTO TERCIARIO, DE AFINO O DE ACABADO

El tratamiento terciario es una etapa final consistente en aumentar la calidad del efluente al estándar requerido antes de descargarlo al ambiente receptor. Puede considerarse una práctica adicional a los procesos biológicos secundarios (que remueven materia orgánica biodegradable e inorgánica oxidable). Generalmente se busca la eliminación de sólidos en suspensión, materia orgánica residual, nutrientes (N y P) y microorganismos patógenos. Se produce gracias a procesos físicos, químicos y biológicos: floculación, filtración, eliminación de N y P y desinfección.

Está especialmente indicado en las zonas agrícolas que empleen altas cantidades de fertilizantes químicos, especialmente nitrógeno y fósforo. Si estos elementos minerales están presentes en concentraciones elevadas en las aguas residuales tratadas, pueden causar problemas de eutrofización en las masas de agua donde se viertan, por lo que deben someterse previamente a un tratamiento terciario. Es recomendable en zonas agrícolas donde se reutilice el agua tratada en el sector agropecuario, puesto que es imprescindible desinfectar las aguas destinadas a ese uso.

3.1.1.3. Otras técnicas de saneamiento

Combinación de sistemas ecológicos

La asociación de varios sistemas ecológicos de depuración de aguas residuales, en cultivos libres o fijos, en serie o en paralelo, puede implantarse para adaptar el tratamiento a un objetivo específico de calidad, integración de las aguas de lluvia etc.

- Combinación de distintos tipos de humedales. Por ejemplo de **humedales de flujo subsuperficial vertical y humedales de flujo subsuperficial horizontal** en serie. Se consigue un tratamiento más afinado, al aumentar la remoción de nitrógeno y fósforo. En un primer piso de humedales verticales poseen mayor aireación y favorecen procesos aerobios de degradación, se reducen los SS, la DBO₅, y se produce una nitrificación casi completa. En un segundo piso de humedales horizontales, que favorecen los procesos anaerobios, se afina el tratamiento sobre los SS y la DBO₅, permite la desnitrificación y la adsorción del fósforo si el soporte es el adecuado (contiene Fe, Al, Ca). Otro ejemplo es combinar **humedales artificiales de flujo subsuperficial (HAFSS), que realicen un tratamiento secundario, seguidos de humedales artificiales de flujo superficial (HAFS), que realicen un tratamiento terciario.**
- Pueden emplearse combinaciones más complejas para afinar los tratamientos **secundarios o terciarios**. Después de los tratamientos de **tipo lagunaje natural o artificial, los humedales de macrófitas emergentes** permiten liberarse del riesgo de vertidos temporales de calidad mediocre. Se utilizan frecuentemente sistemas de **lagunas facultativas (tratamiento secundario) seguidas de humedales de macrófitas emergentes (tratamiento secundario y terciario)** para el tratamiento de las aguas de lluvia.

Combinación de sistemas convencionales con sistemas ecológicos

- Combinar **técnicas de aireación prolongada o fangos activos (tratamiento secundario), con fitosistemas, como humedales artificiales, por ejemplo con plantas emergentes en flujo libre (FMF o FHS)**. Es un sistema eficaz, puesto que además de la aireación que llevan a cabo las soplantes con alto consumo energético, se inyecta oxígeno de forma natural por medio de las propias plantas macrófitas. Supone un menor consumo energético, aumenta la capacidad de tratamiento, se reducen los malos olores, los ruidos y la generación de fangos. Por lo tanto se reducen los impactos ambientales y con el ahorro energético se amortizan antes los costes de implantación, contribuyendo a la sostenibilidad económica de las depuradoras convencionales. Con los fitosistemas puede llegarse a un nivel de **tratamiento terciario**.
- Combinar **sistemas de biodiscos o de lecho bacteriano (tratamiento secundario), seguidas por una laguna de maduración (tratamiento terciario)**. Se obtienen vertidos con remoción de nutrientes y patógenos (Dirección General del Medio ambiente de la Comisión Europea, 2001).

Rehabilitación y modernización de antiguas depuradoras convencionales

El sistema de **humedal artificial con plantas emergentes en flujo libre (FMF o FHS)** puede emplearse para rehabilitar **una depuradora convencional** que presente problemas de funcionamiento. Se trata de un sistema eficaz y sencillo para rehabilitar las depuradoras que han perdido su capacidad de tratamiento o que están en desuso dados sus altos costes de explotación. Las helófitas oxigenan el lecho depurador, sustituyendo a los equipos electromecánicos de alto consumo energético. Supone un ahorro económico al consumir menos energía y al desaparecer la necesidad de gestionar los lodos, reduciéndose el mantenimiento a las tareas fitosanitarias. Se puede complementar la rehabilitación, para la mejora de la calidad de vertido, con una nueva balsa que sirva de **tratamiento terciario**, como una **laguna de maduración o un humedal artificial de flujo superficial (HAFS)**.

Otras técnicas de saneamiento

- **Combinación sistemas ecológicos**
 - HAFSs (tratamiento secundario) + HAFS (tratamiento terciario)
 - lagunas facultativas (tratamiento secundario) + humedales macrófitas emergentes (tratamiento secundario y terciario)
- **Combinación: sistemas convencionales + ecológicos**
 - AP o FA (tratamiento secundario) + fitosistemas (tratamiento terciario)
 - biodiscos o LB (tratamiento secundario) + laguna de maduración (tratamiento terciario)
- **Rehabilitar antiguas depuradoras convencionales**
 - HA con plantas emergentes en flujo libre (FMF o FHS)
 - Complementarla con laguna de maduración o HAFS (tratamiento terciario)

Figura 22. Esquema de otras técnicas de saneamiento. Fuente: elaboración propia.

3.1.2. Comparativa de los distintos métodos de saneamiento

En la tabla 24 se presenta una comparativa entre los sistemas de depuración basada en sistemas ecológicos con los sistemas convencionales atendiendo a diversos criterios.

Tabla 24. Comparativa entre los sistemas de depuración basada en sistemas ecológicos con los sistemas convencionales Fuente: elaboración propia.

	DEPURACIÓN BASADA EN SISTEMAS ECOLÓGICOS	DEPURACIÓN CONVENCIONAL
Superficie requerida	Extensa, requiere más superficie	Escasa, requiere poca superficie.
Tamaño población	<5000 h-e	>5000 h-e
Nivel de tratamiento	Tratamiento primario, secundario y terciario	Tratamiento secundario
Velocidad de depuración	Velocidad natural. No hay aporte de energía de forma artificial	Velocidad acelerada, gracias al aporte de energía
Eficacia en la depuración	Bueno eliminando materia orgánica, efectivo en la remoción de elementos patógenos y nutrientes, como el N. El P se elimina en menores niveles	Bueno eliminando materia orgánica, poco efectivo en la remoción de elementos patógenos y nutrientes
Adaptación al entorno natural. Integración paisajística	Sistema natural, se autoregenera, funcionamiento integral de procesos ecológicos. Propicia la creación de hábitat de vida silvestre y ecosistema acuático, contribuyen a la conservación de ecosistemas, ofrece opciones de recreación pública y permite desarrollar programas de educación ambiental. Impacto visual escaso, alto grado de integración paisajística	Causa impacto en el entorno El impacto visual es considerable, su integración paisajística es escasa
Materiales constructivos	Elementos naturales, muy pocos artificiales	Principalmente hormigón y acero o hierro
Costes de implantación	Bajos. Por ejemplo entre los FMF y fangos activos, el primero es entre 3-5 veces más bajo	Elevados
Costes de explotación	Bajos. Por ejemplo entre los FMF y fangos activos, el primero es entre 3-5 veces más bajo	Elevados
Consumo energético	Nulo o muy reducido. Los vegetales consumen energía solar en la fotosíntesis y a veces energías renovables. Por ejemplo cuando un sistema de FMF necesita recircular el efluente de salida a la entrada del agua residual pueden emplear una placa solar o sistema eólico	Elevado. Consumen energía eléctrica (kWh) y energías fósiles. No emplea energías renovables
Aireación	Natural, por intercambio de oxígeno con la atmósfera y por aportación de las plantas	Forzada, mediante bombeo. Requiere consumo energético.
Empleo de sustancias químicas	No. Las aguas se desinfectan mediante procesos naturales. Los microorganismos son eliminados por depredadores (protozoos y bacteriófagos) ubicados en la rizosfera de las plantas o radiación UV	Si. Necesidad de desinfección de aguas, mediante cloración

Generación de fangos	No suele requerir extracciones periódicas (puede ser necesaria una extracción al año), puesto que suele trabajarse con tiempos de retención mayores, que permiten que la mayoría de la materia orgánica biodegradable se convierta en gas (CO ₂ y CH ₄) y el resto se mineralice	Se generan. Su gestión supone una fracción importante de los costes totales de explotación
Malos olores	En general no se producen. En lagunajes y humedales de flujo superficial pueden generarse	Se generan
Ruidos	Escasos	Se generan
Gases	No produce emisiones de CO ₂ , son sumidero de CO ₂ . Es acorde con el Protocolo de Kioto	Se desprenden gases a la atmosfera. Almacenar lodos genera emisiones de metano a la atmósfera
Operación	Sencilla, poco costosa y flexible	Sofisticada y costosa
Mantenimiento	Sencillo, poco costoso. No requiere prácticamente mano de obra especializada	Sofisticado y costoso. Requiere mano de obra especializada
Variabilidad a la que está sometida el sistema	Su funcionamiento global es muy variable, puesto que la naturaleza es cambiante. Debe hacerse un diseño adecuado, con márgenes de seguridad	Bastante rígido
Capacidad de adaptación a variaciones de carga y caudal	Capaces de depurar desde pequeñas poblaciones hasta grandes volúmenes. Son sistemas autorregulados, capaces de absorber fuertes oscilaciones de caudal y carga contaminante, gracias a su capacidad de resiliencia ⁶⁷ . Son muy resistentes a cambios en las condiciones de operación, pero si se sobrepasa su capacidad de adaptación son muy lentos en volver su estado habitual	Capaces de depurar medianos a grandes volúmenes. Trabaja a caudales constantes
Tiempo de construcción y puesta en marcha	Por ejemplo en sistemas FMF para una población de 3.000 h-e: unos 2 meses de construcción y 6 de puesta en marcha	Por ejemplo en depuradoras de fangos activos para una población de 3.000 h-e: unos 8 meses de construcción y 6 de puesta en marcha
Gobernanza-gobernabilidad	Alta. Facilitan una gestión descentralizada de las aguas residuales	Escasa
Aplicabilidad	Especialmente indicados para poblaciones pequeñas o medianas. Indicada para núcleos turísticos, con mayor población en verano, época de máxima actividad de las plantas acuáticas	Indicadas para poblaciones mayores

En el **Anexo IX** se presenta una tabla que compara el sistema de depuración de tipo humedal artificial de flujo superficial y de flujo subsuperficial.

⁶⁷ Resiliencia: tendencia de un ecosistema a volver a su estado original tras una perturbación.

3.1.3. Criterios para la elección de la técnica de depuración apropiada

A continuación se presentan distintos sistemas de depuración, aplicables al tratamiento de las aguas residuales de pequeñas poblaciones, tanto solos como en combinación, así como la nomenclatura empleada para designarlos.

Tabla 25. Sistemas de depuración y nomenclatura asociada. Fuente: (Huertas, y otros, 2013).

Pretratamiento		Desbaste
		Desarenado
		Desengrasado
Tratamiento primario		FS- Fose séptica
		TI - Tanque Imhoff
		DP - Decantación primaria
Tratamiento secundario	Extensivo	LA - Lagunaje
		HS - Humedal artificial
		HAFSsV - Humedal artificial subsuperficial vertical
		HAFSsH - Humedal artificial subsuperficial horizontal
	Intensivo	FA - Filtro intermitente de arena
		IP - Infiltración - percolación
		AP - Aireación prolongada
		SBR – Reactor secuencial
		LB - Lecho bacteriano
Tratamiento terciario	CBR - Contactor biológico rotativo	
	HAFS - Humedal artificial flujo superficial	
	LA - Lagunaje (Laguna de maduración)	

La elección de la técnica más apropiada a aplicar en cada caso debe regirse por criterios técnicos, ambientales y económicos. A continuación se detallan dichos aspectos.

CRITERIOS TÉCNICOS:

- Naturaleza del agua residual

Las características de las aguas residuales dependen de las condiciones locales, como son el grado de industrialización de la población, su número de habitantes y sus hábitos. Ciertas tecnologías se adaptan mejor a cambios en los niveles de contaminación.

En general, los tratamientos mencionados presentan un buen comportamiento con las aguas residuales de origen urbano, y en caso de existir vertidos de origen industrial los sistemas más adecuados son las biopelículas (LB, CBR) y de manera limitada los fangos activos (AP, SBR).

- Tamaño de la población a tratar, en habitantes-equivalentes (h-e)

Tabla 26. Rangos de población en los que se recomienda usar cada opción de tratamiento. Fuente: Huertas, y otros, (2013).

	50-200 h-e	200-500 h-e	500-1000 h-e	1000-2000 h-e
Tecnología recomendable	FS, TI, LA, HS, FA, IP, CBR, LB, AP, SBR	TI, LA, HS, FA, IP, CBR, LB, AP, SMR	TI, DP, LA, HS, FA, IP, CBR, LB, AP, SBR	DP, LA, HS, FA, CBR, LB, AP, SBR

- Calidad requerida del efluente según el medio receptor

Es preciso conocer la eficacia de cada tecnología para asegurar los límites exigidos en las autorizaciones de vertido. Los fitosistemas, como los humedales artificiales, son muy eficaces eliminando sólidos en suspensión, materia orgánica y nitrógeno, pero para la remoción del fósforo puede ser necesario seleccionar un suelo con elementos, como el hierro, que lo hagan precipitar.

Tabla 27. Niveles de tratamiento alcanzado según la tecnología implantada. Fuente: Ortega de Miguel, y otros, (2010).

Tecnología	Nivel de tratamiento	Características (%)					
		SS	DBO ₅	DQO	N-NH ₄₊	N ₂	P _T
FS	Primario	50-60	20-30	20-30	-	-	-
TI	Primario	50-60	20-30	20-30	-	-	-
DP	Primario	60-65	30-35	-	-	-	-
LA	Secundario	40-80	75-85	70-80	30-70	40-80	30-60
HSsFV	Secundario con nitrificación	90-95	90-95	80-90	60-70	60-70	20-30
HSsFH	Secundario	90-95	85-90	80-90	20-25	20-30	20-30
FA	Secundario con nitrificación	90-95	90-95	80-90	70-80	40-50	15-30
IP	Secundario con nitrificación	90-95	90-95	80-90	70-80	40-55	15-30
LB	Secundario o Sec.con nitrificación ²	85-95	85-95	80-90	60-80	20-35	10-35
SBR	Secundario con nitrificación o con eliminación de N _t ²	>90	>90	80-90	90-95	80-85	55-65
AP	Secundario con nitrificación o con eliminación de N _t ²	85-95	85-95	80-90	90-95	80-85	20-30
CBR	Secundario o Sec.con nitrificación ²	85-95	85-95	80-90	60-80	20-35	10-35

² Según como se diseñe el proceso se alcanza uno u otro nivel de tratamiento.

- Superficie y características del terreno disponible

Se debe seleccionar una ubicación adecuada y según el espacio disponible ciertas tecnologías pueden ser inviables. El ámbito normal de aplicación de la mayoría de los sistemas ecológicos de depuración son los núcleos poblacionales de pequeño tamaño, dados sus elevados requisitos de superficie, aunque pueden implantarse en poblaciones mucho mayores (CENTA; Instituto Tecnológico de Canarias, 2006).

Tabla. 28. Clasificación de las tecnologías en función de la superficie requerida para su implantación (m²/h-e), tomando como referencia la superficie requerida por h-e obtenida para una población de 1000 h-e. Fuente: Ortega de Miguel, y otros, (2010).

Requerimiento de superficie	Tecnología
Muy bajo (<1 m ² /h-e)	AP, LB, CBR, SBR
Bajo (1-3 m ² /h-e)	FA (con R), Macrófitas en flotación
Medio (3-5 m ² /h-e)	FA (sin R), HFSsV
Alto (5-7 m ² /h-e)	IP
Muy alto (>7 m ² /h-e)	LA, HFSsH

En general, los tratamientos que requieren mayores extensiones de terreno se ubican en terrenos con pendientes suaves y que no sean de difícil excavación, para evitar encarecer y complicar la construcción de la EDAR. En el caso de existir acuíferos

someros o un elevado nivel freático, son inviables las técnicas de depuración que requieren excavar en profundidad, como las zanjas filtrantes o los filtros verdes.

- Consumo energético

Tabla. 29. Clasificación de las tecnologías en función del consumo energético asociado a las mismas. Fuente: Enrique Ortega: “Jornada sobre depuración en pequeñas poblaciones en Aragón”, Huesca, (2013).

Consumo energético	Tecnologías
Nulo o Muy Bajo	Lagunaje. Humedales Horizontales o Verticales, Filtros intermitentes de Arena (sin R). Macrófitas en Flotación
Muy Bajo o Bajo	Filtros intermitentes de Arena (con R)
Medio (0,3-0,7 kWh /kg DBO5 eliminado)	Biodiscos
Medio (0,6-0,9 kWh/kg DBO5 eliminado)	Lechos Bacterianos
Muy Alto (2-2,5 kWh/kg DBO5 eliminado)	Aireación Prolongada. Reactores Biológicos Secuenciales

- Adaptabilidad de las técnicas a las condiciones meteorológicas

La temperatura es el factor climatológico más importante. En zonas donde se alcancen temperaturas bajo cero se deben aplicar factores de seguridad en el dimensionamiento de los sistemas de depuración, para compensar la probable disminución del rendimiento de los procesos biológicos. En lugares de climas muy fríos, se ven favorecidos los sistemas que pueden enterrarse, como fosas sépticas, tanque Imhoff, o los que pueden cubrirse con facilidad, como los contactores que operan bajo cubierta, o aislarse térmicamente y trabajar con ventilación forzada, como los lechos bacterianos. Entre los sistemas ecológicos, los HAFSsH están más protegidos que otros como el lagunaje, con mucha superficie en contacto con el aire ambiente. La pluviometría afecta fundamentalmente al filtro verde, al limitar la cantidad de agua residual que puede aportarse a la plantación (CENTA; Instituto Tecnológico de Canarias, 2006).

- Versatilidad del tratamiento

Es la flexibilidad y capacidad de adaptación del tratamiento a variaciones importantes, horarias y estacionales, de caudal y carga. Las sobrecargas de caudal y de contaminación puntual se asocian a vertidos incontrolados en la red de saneamiento o al aporte de aguas pluviales en caso de emplear redes unitarias. En general, cuanto más pequeña es la población, más acusadas son las fluctuaciones de caudal y carga contaminante a escala diaria. Los sistemas ecológicos, que tienen un tiempo de retención hidráulica alto, como el lagunaje y los HAFSsH, son los que mejor se adaptan a variaciones diarias de caudal a depurar. La decantación primaria y el tanque Imhoff son muy sensibles a las sobrecargas.

En el caso del pirineo aragonés en muchas poblaciones existen variaciones estacionales de larga duración (vacacional), por lo que debe incluirse un factor de

seguridad en el diseño de las instalaciones o incorporan varias líneas de tratamiento. Si las variaciones estacionales son de corta duración (fines de semana) los tratamientos ecológicos no suelen responder bien puesto que no son de respuesta rápida. En los lugares donde las variaciones estacionales son altas pueden ser conveniente combinar tratamientos ecológicos con tratamientos físico - químicos.

- **Gestión de los fangos que se puedan generar**

La producción de fangos obliga a gestionarlos y complica la gestión de la depuradora. En los tratamientos secundarios, como los de infiltración – percolación, filtros intermitentes de arena y humedales artificiales, no se generan fangos biológicos. Sin embargo, si se generan en los tratamientos primarios que suelen acompañarles, como la FS o TI.

- **Complejidad de explotación y mantenimiento de las infraestructuras**

Actualmente la gestión de pequeñas EDAR constan de muchos procesos automatizados controlados por sistemas de control remoto, pero los trabajos de operación y mantenimiento siguen siendo complejos. Generalmente el mantenimiento asociado a los sistemas de depuración convencionales es mayor que el de los ecológicos.

CRITERIOS AMBIENTALES:

- **Integración paisajística-ecosistémica**

Las estaciones de depuración suelen construirse en zonas periurbanas. Los lechos bacterianos, tienen una altura de unos 5 m, por lo que suelen causar un importante impacto visual en el entorno, que puede minimizarse tapizándolo de plantas (CENTA; Instituto Tecnológico de Canarias, 2006). En zonas rurales o con alto valor ecológico o calidad paisajística, como es frecuente en el pirineo aragonés, es especialmente importante seleccionar sistemas de depuración de bajo impacto visual. Los humedales artificiales y los lagunajes tienen alto potencial de integración paisajística, pudiendo atraer a fauna acuática interesante (Dirección General del Medio ambiente de la Comisión Europea, 2001).

- **Generación de ruidos**

La depuración basada en sistemas ecológicos genera menos ruidos que la depuración basada en métodos convencionales. Cuantos menos equipos electromecánicos existan asociados a las tecnologías menor será el impacto debido a ruidos. En los lechos bacterianos, contactores biológicos rotativos y aireaciones prolongadas, se instalan motores, que provocan impactos sonoros influyendo negativamente en el entorno.

- **Producción de olores**

Los sistemas de tratamiento anaerobios presentan mayor riesgo de tener asociados la generación de malos olores que los de tratamiento aerobios. La fase anaerobia del lagunaje o de humedales de flujo superficial es la tecnología que más

problemas puede presentar en caso de que no se diseñen y exploten correctamente sus instalaciones.

CRITERIOS ECONÓMICOS:

La capacidad económica y de gestión de una población depende de lo siguiente:

- Tamaño de la población (pérdida del efecto de economía de escala⁶⁸)
- Nivel económico
- Existencia de canon de saneamiento y sistema organizado de gestión supramunicipal

Según Fernández González (2005), un tratamiento secundario vale del orden del doble o el triple que uno primario, y uno terciario aproximadamente como el primario y el secundario juntos.

- Costes de implantación

Tabla 30. Categorización de tecnologías en función de los costes de implantación. Fuente: Ortega de Miguel, y otros, (2010).

Costes de implantación (para una población de 1000 h-e)	Tecnologías
100-200 euros/h-e	FA, AP
200-300 euros/h-e	LA, HFSV, HFSH, IP, LB
>300 euros/h-e	CBR

Tabla 31. Costes de implantación estimados para cada tecnología. Fuente: Ortega de Miguel, y otros, (2010).

Tecnología	Rango de población (h-e)	Costes de implantación (€/h-e)
LA	50-1.000	800-250
HFSV	50-1.000	450-250
HFSH	50-1.000	450-270
FT _m	50-1.000	440-220
FIA	50-1.000	420-220
FIA _r	50-1.000	400-160
IP	50-1.000	390-260
CBR	200-2.000	490-340
LB	200-2.000	700-200
AP	500-2.000	300-100

- **Costes de explotación:** son más relevantes que los de implantación. Son los gastos que han llevado al fracaso de muchas depuradoras pequeñas.

Tabla 32. Categorización de tecnologías en función de los costes de explotación. Fuente: Ortega de Miguel, y otros, (2010).

Costes de explotación (para una población de 1000 h-e)	Tecnologías
≤10 euros/h-e	LA
10-20 euros/h-e	HFSV, HFSH, FA, IP, CBR, LB
>20 euros/h-e	AP

⁶⁸ Economía de escala: son las ventajas en términos de costos que una empresa obtiene gracias a la expansión. Existen factores que hacen que el coste medio de un producto por unidad caiga a medida que la escala de la producción aumenta.

Tabla 33. Costes de explotación y mantenimiento estimados para cada tecnología. Fuente: Ortega de Miguel, y otros, (2010).

Tecnología	Rango de población (h-e)	Costes de explotación (€/h-e.año)
LA	100-1.000	34-8
HFSV	100-1.000	48-18
HFSH	100-1.000	48-18
FT _m	100-1.000	44-14
FIA	100-1.000	44-15
FIA _r	100-1.000	44-15
IP	100-1.000	41-14
CBR	500-2.000	24-16
LB	500-2.000	25-17
AP	500-2.000	34-22

La tabla 34 presenta un resumen de las técnicas de depuración y los grados de tolerancia de cada una frente a distintos criterios.

Tabla 34. Clasificación de los sistemas de depuración de aguas residuales según los grados de tolerancia de cada uno frente a distintos criterios. Fuente: Huertas, y otros, (2013).

CRITERIOS		TRATAMIENTOS SEGÚN GRADO DE TOLERANCIA		
		- -----> +		
		Bajo	Medio	Alto
Requerimiento de superficie		FS, TI, DP, LB, CBR, AP, SBR	HSFV, FA, FT	LA, HSFH, IP
Tolerancia a bajas temperaturas		DP, LA, FA, HSFV, IP	LB, HSFH	FS, TI, AP, SBR, CBR
Complejidad de operación y mantenimiento		LA, HS, FA, IP	LB, CBR	AP, SBR
Capacidad de adaptación al grado de contaminación	AR de contaminación fuerte	LA, HSFH, IP	FA, HSFV, CBR, LB	AP, SBR
	AR de contaminación media	Todos son adecuados		
	AR de contaminación débil	AP, SBR	-	LA, IP, HS, FA, LB, CBR
Capacidad de adaptación a variaciones	diarias de caudal	AP, CBR, LB	SBR, FA, IP, HSFV	HSFH, LA
	estacionales de caudal	CBR, HS, FS, TI, FA, IP	LA, AP	LB, SBR
Costes	Costes de implantación	DP, FS, TI, FA	HSFV, LB, LA	IP, HSFH, AP, CBR
	Costes de explotación	FS, TI, DP	LA, FA, HSFH, HSFV	IP, LB, CBR, AP
Gestión de fangos	Cantidad generada	FA, HS, LA	FS, TI, DP, AP, SBR	LB, CBR
	Frecuencia de retirada	LA	FS, TI, LB, CBR	AP, SBR, DP
Impacto ambiental	Generación de malos olores	AP, SBR, CBR, HS	FS, TI, DP, LB, FA, IP	LA
	Generación de ruidos	FS, TI, DP, HS, FA, IP, LA	CBR, LB	AP, SBR
	Integración paisajística	LB, CBR, AP, SBR	FA	LA, HS, IP

3.1.4. Estudio de casos prácticos de depuración basada en sistemas ecológicos en pequeñas y medianas poblaciones

A pesar de que en España los sistemas de depuración basados en sistemas ecológicos se consideran como no convencionales, éstos vienen utilizándose tradicionalmente en muchos países de Europa y América. Según estadísticas realizadas en 1991 en los Estados Unidos de América existen más de 200 humedales artificiales operativos que están tratando aguas residuales urbanas e industriales. En Europa existen más de 200 sistemas de humedales naturales y unos 5.000 humedales artificiales que se usan para el tratamiento de aguas residuales industriales y aguas residuales doméstica (Estrada Gallego, 2010). Existen muchos ejemplo de depuradoras basadas en sistemas ecológicos que están funcionando de forma eficaz: en Alemania, estonia, en Austria en refugios de montaña, en florida en climas tropicales, en Dinamarca, en la Republica Checa hay muchos sistemas hechos en refugios de montaña, en EEUU (EPA) regula los sistemas de depuración, en Francia existen más de 500 instalaciones basadas en sistemas ecológicos.

Dinamarca, Lyngby. Pequeña población, de 580 h-e, donde se implantó un sistema de humedal de flujo subsuperficial con canales con una zona de sedimentación previa. Tiene una balsa para evitar que las lluvias intensas entren en la depuradora, rejillas de desabaste, sistema de decantación (retirada manual de fangos una vez al año), permite reutilizar el agua para riego. El efluente de salida cumple los requisitos de la Directiva 97/271, tomando los siguientes valores: SS 30 mg/l, DBO₅ 20 mg/l, N 2 mg/l. Sin embargo, para eliminar el fósforo, hay que poner sistemas que promuevan su precipitación (*Francisco Comín, Foro de Debate: “La depuración del agua en Aragón”, Aínsa, 2012*).

En España hay varias depuradoras basadas en sistemas ecológicos en funcionamiento. Algunos casos de interés son depuradoras basadas en sistemas ecológicos instaladas por AENA en varios aeropuertos españoles, como el de Barajas (Madrid), en Lorca (Murcia), en San Martín de Sargallolas, (Barcelona), en Monegros (Zaragoza), en Almatres (Lleida), en Canarias hay varios proyectos promovidos por el Instituto Tecnológico de Canarias. Además existe un centro de experimentación en Andalucía de la Fundación Centro de las Nuevas Tecnologías del Agua (CENTA).

Planta Experimental de Carrión de Los Céspedes, (Andalucía). La Junta de Andalucía desarrolló un plan de investigación orientado a conocer las particularidades de las Tecnologías no Convencionales, para lo cual desarrolló la Planta Experimental de Depuración de Aguas Residuales de Carrión de los Céspedes (PECC) (CENTA; Instituto Tecnológico de Canarias, 2006). Se desarrollaron 3 sistemas piloto de filtros verdes y combinaciones de humedales artificiales, gestionados desde 1999 por el Centro de las Nuevas Tecnologías del Agua (CENTA). Desde 1990, con la construcción de la PECC, más del 50% de las instalaciones de tratamiento de aguas residuales urbanas existentes en la Comunidad Autónoma de Andalucía (que en el año 2006 eran aproximadamente 720) operan bajo los principios de tecnologías no convencionales (Alianza por el Agua, 2008).

Aeropuerto de Madrid-Barajas, (Madrid). Se construyó una EDAR basada en un FMF de carácter experimental, que estuvo en funcionamiento durante 3 años. La superficie ocupada por macrófitas para la depuración era de 1.500 m², con un caudal

medio de agua residual bruta de 200 m³/día, con una carga de contaminación media de 700 h-e y un tiempo medio de retención hidráulica de 6 días. La tabla 44 muestra los valores de los parámetros químicos típicos obtenidos en varios días del año 2001, así como la reducción media que tuvieron dichos parámetros durante los tres años de experimentación (1999-2002). Se consiguió una reducción muy aceptable, simplemente con un tratamiento previo de tamizado, cumpliendo las condiciones de vertido durante todo el año para el parámetro DQO y en primavera y verano para la DBO₅. El nitrógeno y fósforo se redujeron considerablemente, pero no se consiguió su remoción completa. En conclusión, el FMF mostró ser muy eficaz eliminando contaminantes orgánicos, sólidos en suspensión y microorganismos patógenos (Fernández González, 2005).

Tabla 35. Valores de los parámetros químicos de la EDAR experimental de FMF de Barajas, en diferentes días del año 2001 y reducción media de los parámetros en los 3 años de experimentación. Fuente: elaboración propia con datos de Fernández González, (2005).

Parámetro	Medición influente/efluente/%reducción					Requisitos a cumplir por efluentes de estaciones de tratamiento secundarias (Directiva 91/271)	
	04-01-2001	17-05-2001	30-07-2001	19-11-2001	Reducción media (%)	Concentración	% de reducción
DBO ₅	180/40/78	170/25/85	175/16/91	175/48/73	65,68	25 mg/l O ₂	>70-90
DQO	260/130/50	350/120/66	310/90/71	287/112/61	80,60	125 mg/l O ₂	>75
SS	-	-	-	-	66,40	60 mg/l (<10.000 h-e)	>70
Nt	73/32/56	54/33/39	62/29/53	67/39/42	35,85	-	-
Pt	8/4/50	7/5/29	7/5/29	15/8/47	27,11	-	-

Fabara, (Zaragoza), se puso en funcionamiento en el año 2006 una planta depuradora de aguas residuales basada en sistemas ecológicos, consistente en la creación de humedales artificiales (FHS) con un monocultivo de plantas superiores, concretamente *Eneas*. La depuradora fue diseñada y está controlada por los expertos Jesús Fernández González y José de Miguel Muñoz, de la Escuela Técnica superior de Ingenieros Agrónomos de la Universidad Politécnica de Madrid. La capacidad máxima de depuración de la depuradora es de 4800 h-e, consta de 18 canales, cada uno con capacidad para 200 m³. El tiempo previsto de efectividad óptima es de 24 meses.



Figura 23. Esquema general de la depuradora de Fabara. Fuente: Ayuntamiento de Fabara.

Las aguas residuales pasan previamente por un tratamiento primario mediante un depósito Emscher de decantación, y seguidamente pasan a los canales que están repartidos en tres terrazas. La primera terraza tiene 9 embalses, cada uno con capacidad para recoger el vertido total diario del municipio.



Figura 24. Esquema de las terrazas de la depuradora de Fabara. Fuente: Ayuntamiento de Fabara.

El vertido se trata mediante procesos físico-químicos y bacteriológicos. El oxígeno necesario para estos procesos lo suministran las plantas acuáticas, que lo inyectan a través de sus hojas a la zona radicular y se ha instalado un compresor alimentado por paneles solares en los 4 primeros canales que refuerza la oxigenación. En la segunda terraza sigue el proceso de depuración mediante helófitas. En la tercera terraza tiene lugar el filtrado y la evacuación al río Matarraña. El sistema causa una serie de efectos medioambientales directos y potencia el ecosistema y su fauna asociada.

Según datos del alcalde de Fabara, Francisco Javier Domenech Villagrasa, expuestos en el Foro de Debate: “La depuración del agua en Aragón” en Aínsa, 27 de octubre de 2012, los valores de los parámetros del efluente están dentro de lo establecido por la ley. Los análisis realizados en el laboratorio de la Confederación Hidrográfica del Ebro y los análisis hechos por IPROMA, empresa dedicada a realizar análisis para el Ministerio de Medio Ambiente muestran lo siguiente:

Tabla 36. Valores de los parámetros del efluente de la depuradora de Fabara. Fuente: elaboración propia.

	Medición efluente Fabara					Requisitos a cumplir por efluentes de estaciones de tratamiento secundarias (Directiva 91/271)
Parámetro	08-03-2012	15-03-2012	07-06-2012	17-09-2012	14-12-2012	Concentración
DBO ₅	36	-	-	<20	-	25 mg/l O ₂
DQO	153	188	67	66	104	125 mg/l O ₂
SS	-	-	-	<10	-	60 mg/l (<10.000 h-e)

Los datos que se tienen de los parámetros químicos medidos en Fabara en el año 2012, muestran una reducción aceptable. La DBO₅ cumple las condiciones de vertido en verano y adopta un valor algo superior al que marca la Directiva en invierno. La DQO cumple las condiciones de vertido en verano y durante parte del invierno. Los sólidos en suspensión del efluente cumplen la normativa sobradamente.

Lalueva, Monegros, (Zaragoza). Francisco Comín dirige un proyecto LIFE de construcción de humedales para el tratamiento de aguas procedentes del riego agrícola en Monegros, con abundante carga de nitratos. La experiencia puede replicarse en un futuro en otras cuencas agrícolas.

Lorca (Murcia), sistema de Filtro de Macrófitas en Flotación proyecto LIFE *Macrophytes*. En el año 2002, la Comisión Europea concedió al Ayuntamiento de Lorca un proyecto pionero en Europa para la creación de prototipos de filtros verdes basados en el sistema desarrollado por la Universidad Politécnica de Madrid. La duración de los trabajos es de tres años, desde el 2002 al 2005. El sistema consiste en la creación de varios canales impermeabilizados donde se colocan plantas, como enneas (espadañas), carrizos o juncos en flotación, haciendo pasar el agua residual por su entramado radicular. El proyecto busca demostrar la eficacia del sistema para la depuración de aguas residuales mediante humedales artificiales con plantas macrófitas flotantes, y disminuir la falta de depuración adecuada en las zonas rurales del área Mediterránea, circunstancia que agrava la escasez de recursos hídricos en comarcas áridas, como Lorca, donde una buena parte de las aguas residuales no pueden ser reutilizadas.

El proyecto consiste en la creación de 7 prototipos de FMF:

- 3 filtros en pequeños núcleos de población aislados: Doña Inés (149 habitantes), Avilés (394 habitantes) y Coy (501 habitantes).
- 2 filtros en viviendas unifamiliares y otro en el Centro de Interpretación de la Fundación Global Nature en la Sierra de Almenara (Purias).
- 1 filtro en una instalación porcina de Lorca, para la depuración de purines.

Se ha realizado un seguimiento científico para estudiar el desarrollo de las plantas en los filtros y la eficacia del sistema de depuración, y se ha demostrado la viabilidad técnica y económica de los 7 prototipos, especialmente en los núcleos de población de entre 150 y 1.000 h-e.

En la tabla 37 se presentan los resultados obtenidos en el humedal del núcleo de Coy, con tratamiento previo mediante reja de desbaste, un arenero y un decantador digestor de 54 m³. El sistema FMF está formado por 4 canales de 60 m de longitud y 4 m de anchura cada uno, conectados en serie y plantados con esparganios (*Sparganium erectum*).

Tabla 37. Valores de los parámetros del efluente del humedal construido con sistema FMF en el núcleo de Coy (Lorca, Murcia). Mediciones realizadas al final del proyecto, el 18-09-2005. Unidades mg/l. Fuente: Jesús Fernández González⁶⁹.

LUGAR DE TOMA DE MUESTRA	DQO	DBO5	N total	P total
Entrada digestor	574	430	111,4	13,0
Entrada 1er canal	554	410	81,3	11,8
Salida 4º canal	143	40	51,2	8,6
Reducción de la contaminación por macrófitas (%)	74,1	90,2	37,0	27,1
Reducción global de la contaminación (%)	75,1	90,7	54,0	33,8

Se observa que para el tratamiento de las aguas residuales urbanas, el sistema elimina sobre un 90 % de la contaminación orgánica biodegradable. La depuración del contenido en nitrógeno y fósforo total no es tan efectiva, reduciéndose entre el 30 y el 50 %.

En la depuración de purines, que pueden causar un grave problema de contaminación de las aguas y acuíferos por nitratos, se ha comprobado que los sistemas de FMF son una alternativa factible, de bajo coste y efectiva, si se dispone de un pretratamiento de precipitación físico-química, con cal y cloruro férrico, que reduce un 70-80% los SS, un 50-60% la DBO₅, un 37-58% la DQO, y un 67-73% el fósforo.

Su aplicación en viviendas unifamiliares no es tan interesante debido a los riesgos de vertidos de productos químicos (cómo los usados en limpieza del hogar), que pueden dañar las plantas del filtro. Es imprescindible que los habitantes conozcan el funcionamiento del sistema y estén sensibilizados para minimizar los riesgos asociados a ciertos vertidos (Fundación Global Nature. Universidad Politécnica de Madrid, 2005).

Canarias, el Instituto Tecnológico de Canarias (ITC) fomenta los sistemas de depuración natural en Canarias, para la depuración a pequeña escala y ha puesto en marcha ocho iniciativas, entre las que está el proyecto Depurant en entornos rurales,

⁶⁹ <http://www.madrimasd.org/informacionidi/noticias/noticia.asp?id=25006>

desde 1999 que siguen operativas y con óptimos resultados de funcionamiento. En la tabla 17 se detallan los valores de los parámetros del efluente de cuatro de los proyectos piloto de depuración natural desarrollados y sus principales características:

- Aula de la Naturaleza La Laurisilva, que tiene como tratamiento primario un tanque Imhoff de 30 h-e.
- Santa Lucía es un núcleo urbano de carácter rural, que tiene como pretratamiento y tratamiento primario una reja de desbaste, antigua fosa de decantación y un tanque Imhoff 100 h-e
- Los carrizales es un núcleo rural, que tiene como pretratamiento/tratamiento primario una fosa séptica sobredimensionada (180m³).
- Presa de Las Niñas (Baños públicos de un área recreativa), tiene como pretratamiento/tratamiento primario, una fosa séptica /filtro biológico.

Los proyectos piloto desarrollados han demostrado que, eligiendo la adecuada combinación tecnológica, los sistemas de depuración natural son una alternativa fiable para el tratamiento de aguas residuales a pequeña escala (Departamento de Agua, Instituto Tecnológico de Canarias, 2010).

Tabla 38. Valores de los parámetros del efluente de cuatro de los proyectos de depuración natural desarrollados por el ITC y sus principales características. Fuente: elaboración propia con datos del Departamento de Agua, Instituto Tecnológico de Canarias, (2010).

Proyecto piloto	Tecnología aplicada	Período de estudio	h-e diseño/ real	Q teórico /real(m ³ / día)	Sup. Efect. . dep. (m ²)	Concentración media (mg/l) DBO ₅ /DQO/SS		Rdto (%)
						entrada	salida	
Aula Naturaleza Laurisilva	Estanque facultativo con macrófitos y filtros de grava	1999-2000 2008-2009	44	4,72/4,5 -3,7	95	187/333 /55a	45,5/1 25/47 9,8/11 3/20,2	76/62/14 95/66/63
Santa Lucía	Humedales de flujo vertical en paralelo y humedal de flujo horizontal en serie con Anea	2008-2009	100/ 200	12,5	350	410/740 /310b	66/172 /16	84/76/92
Los carrizales	Canales de picón de flujo horizontal con macrófitas en paralelo	Prim-ver 2005 Otoñ.-inv. 2005-06	125/ 30	20/4-5	100	42/140 ^a / - 36/106 ^a / -	18/85/ - 10/42/ -	57/39/- 72/60/-
Presa de Las Niñas (Baños públicos)	Humedal de flujo horizontal (otros 2 en serie para evapotranspirar)	2004-2005 2008-2009	-/-	-/-	177	48/203a	19/72/ - 19/173 /-	60/65/-

a: muestras de entrada al sistema obtenidas a la salida de tratamiento primario.

b: muestras de entrada al sistema obtenidas a entrada de tanque Imhoff.

España hay varias depuradoras basadas en sistemas ecológicos, en general se muestran **eficaces eliminando contaminantes orgánicos, SS y microorganismos patógenos** y algo menos en la remoción Nt y Pt (30-50 %)

3.2. DISEÑO DE CRITERIOS PARA UN NUEVO PLAN DE SANEAMIENTO PARA EL PIRINEO

3.2.1. Directrices de ese nuevo Plan

3.2.1.1. Adecuarlo y dimensionarlo a la realidad poblacional y territorial

El Pirineo aragonés es la parte aragonesa correspondiente con las comarcas de La Jacetania, Alto Gállego, Sobrarbe y La Ribagorza de la cadena pirenaica. Su extensión es de 7.880 km², suponiendo un 16,5 % de la superficie total de Aragón. Su población es de 53.436 habitantes según los datos del Instituto Aragonés de Estadística de 2011, año en que se trataban tan sólo las aguas residuales del 47 % de la población en esta zona (La Calle Marcos, 2013).

La población del pirineo aragonés se caracteriza por presentarse de manera dispersa en el territorio, estar asociada a vertidos de baja carga contaminante, por la escasez de industrias existente, y en muchas poblaciones producirse variaciones de población estacionales debidas al turismo, lo que conlleva una considerable variación del caudal total a depurar.

Es importante tener en cuenta que la demanda de agua y en consecuencia el vertido no permanecen constantes en el tiempo. Esto es especialmente relevante en el ámbito territorial del pirineo aragonés, puesto que como resalta el Decreto 107/2009 por el que se aprueba la RPASD: *“el aumento del nivel económico y la movilidad produce un incremento de las segundas residencias y los desplazamientos de vacaciones y fin de semana, con lo que es posible que en algunas zonas se produzcan demandas y vertidos, especialmente en ciertas épocas del año, muy superiores a los actuales”*. En las últimas décadas ha crecido de manera significativa la población estacional en muchos de los núcleos de población del pirineo aragonés. La tradicional economía agroganadera se ha visto sustituida por actividades turísticas y de servicios. Este uso turístico conlleva una serie de impactos negativos sobre el medioambiente: puntas de contaminación en fines de semana y épocas festivas dado el elevado número de segundas residencias, las estaciones de esquí que son la principal industria del pirineo pueden producir puntas de contaminación en las cabeceras de ríos, abundan las zonas de margas erosionables con el consecuente aporte de sólidos a los ríos. El sector servicio produce impacto en la calidad de las aguas principalmente por:

- Puntas de población durante fines de semana y vacaciones por existir numerosas segundas residencias. Este hecho condiciona el dimensionamiento de las depuradoras, puesto que la ley marca que se diseñen y dimensionen para las cargas máximas que puedan tener. Esto cobra especial importancia en el pirineo aragonés.
- En los núcleos de población que albergan estaciones de esquí se producen puntas de ocupación en la temporada invernal, cuando existen condiciones climáticas difíciles para la depuración.
- En el pirineo aragonés existen numerosos puntos de concentración turística en verano. Se producen vertidos de gran importancia puesto que la capacidad de autodepuración de los ríos en estación es muy limitada, dado que se encuentran en pleno estiaje.

La actividad industrial de Aragón se concentra principalmente en Zaragoza y alrededores, aunque también existen en la zona pirenaica industrias importantes en Sabiñánigo y algo menos en Jaca. La cabecera del río Gállego es una zona del pirineo aragonés especialmente afectada por la contaminación, debido a la presencia de industria química y del aluminio en Sabiñánigo. A excepción de estas dos localidades, en el pirineo no tienen influencia el empleo industrial ya que es muy limitado en la zona. Según datos del el Decreto 107/2009 por el que se aprueba la RPASD, el número de empleos industriales, deducido de la relación (empleos industriales/ habitantes de hecho) se corresponde con un coeficiente de un 4% para el Pirineo, el menor dentro de las 5 macrocomarcas de Aragón. En las poblaciones en que las aguas residuales provienen en su mayoría de las aguas residuales domésticas, el número de h-e debe ser similar al número de habitantes de la población (Huertas, y otros, 2013).

Se evidencia que en los núcleos rurales de Aragón y concretamente en el pirineo aragonés existe un problema generalizado de sobredimensionamiento de las obras de las depuradoras así como una carencia de estudio de alternativas tecnológicas de depuración que pueden llegar a ser más eficaces y adecuadas al contexto local, como pueden ser los sistemas de depuración ecológica.

El Plan Pirineos sobredimensiona muchas depuradoras, e incluso algunas están proyectadas para núcleos sin alcantarillado o despoblados, como ha ocurrido en ciertos núcleos de población de la zona de Aínsa que están deshabitados. La RPASD establece, en las poblaciones en las que se proyecta una estación de depuración, una población de diseño que en general es como mínimo de más del doble de la población beneficiaria, llegando en ciertas poblaciones a ser 36 veces superior, como es el caso de Formigal (ver tabla 3).

En la comunidad autónoma de Aragón el diseño y la construcción de las depuradoras se han realizado de manera generalizada sin realizar estudios previos rigurosos. Esto ha llevado al sobredimensionamiento de muchas de las estaciones depuradoras, cuya diseño se ha basado en el cálculo de la carga contaminante de las poblaciones en valores de habitantes equivalentes tomando como referencia poblaciones europeas con mucha más cantidad de aguas residuales procedente de actividades industriales y por lo tanto con mucho mayor nivel de contaminación de sus aguas respecto a la que se da en los núcleos pequeños y medianos del pirineo aragonés. Consecuentemente, se han construido estaciones que no son adecuadas para la realidad local y esto ha llevado al fracaso, insostenibilidad o incluso cierre de muchos de los proyectos.

Es preciso resaltar que el IAA ha incumplido la normativa española y europea relativa al tratamiento de aguas residuales al calcular los h-e y dimensionar las depuradoras realizando un número de muestreos insuficiente y basarse en estimaciones hechas en poblaciones europeas, más industrializadas. La ley marca que deben realizarse muestreos durante un año pueblo a pueblo para saber la relación habitante real – equivalente a asignar y hacer un dimensionamiento adecuado, estudiando los efluentes, calificando el tipo de influentes, las puntas en los momentos de máxima afluencia poblacional, etc. Además, por ley, las industrias deben responsabilizarse del agua residual que vierten y en caso de ser necesario deben situar una depuradora a la salida de las aguas de su proceso industrial, esto en general no se cumple. Por ejemplo

en la población de Fabara, según datos de su alcalde Francisco Javier Domenech Villagrasa, el IAA calculó un factor de conversión entre habitantes reales y de diseño de 2,4, suponiendo unos 3000 y pico h-e y posteriormente se ha comprobado que el factor de conversión debe ser del orden de 0,88, suponiendo unos 800 h-e.

3.2.1.2. Especificidad de valores ambientales

En el Pirineo Aragonés se dan una serie de aspectos de relevancia ambiental que es importante considerar:

- Existen abundantes zonas a las que se les ha asignado figuras de protección ambiental: reservas de la biosfera, parques naturales y nacionales, LIC, ZEPA.
- Presencia de flora y fauna con diferentes grados de protección.
- Es zona cabecera de ríos.

Como se ha comentado en el apartado de Legislación ambiental, el Pirineo aragonés está dentro de la zona biogeográfica Alpina y tiene una alta protección ambiental. La Red Natura 2000 supone en Aragón un 28,84 % de la superficie de la comunidad, existen gran número de Lugares de Interés Comunitario (LIC) y Zonas de Especial Protección para las Aves (ZEPA), que contribuyen a mantener la biodiversidad y la conservación de los hábitats, fauna y flora de la zona.

La depuración basada en sistemas ecológicos tiene asociadas una serie de consecuencias positivas como las siguientes:

- Refuerzo del tejido social (mundo rural vivo)
- Creación de empleo. Los sistemas de depuración ecológicos en pequeñas poblaciones pueden suponer un elemento dinamizador del empleo local
- Turismo
- Imagen ambiental y sostenible como marca de territorio

Se trata de una zona en la que se puede potenciar su valor ambiental como elemento para la fijación de población y atracción de visitantes. A modo de ejemplo, el río Ara se considera el último río ecológico de Aragón y sin embargo esto no se promociona ni se protege especialmente.

La depuración de las aguas residual debe considerarse, además importante para evitar causar daños sobre el medioambiente o la salud humana, como un mecanismo de recuperación, de ahorro y de integración ambiental y socioeconómica. Concretamente los sistemas ecológicos de depuración son un recurso en sí mismo, al poseer un importante valor paisajístico y fomentar la biodiversidad de los lugares donde se emplazan (Departamento de Agua, Instituto Tecnológico de Canarias, 2010).

Caracterización del pirineo aragonés

- **Población rural y dispersa**
- Elevado nº **pequeños núcleos** rurales
- **Fracaso sist. Convencionales**: no adecuados contexto local y sobredimensionados
- **Fuertes variaciones Q y carga** contaminante: varían habitantes según época del año, turismo
- Grado de **contaminación** de las aguas **débil o medio**

La mayoría de municipios sin EDAR y de depuradoras contempladas en Plan B son pequeñas poblaciones (<2.000 h-e) → normativa exige "tratamiento adecuado"

Especificidad de valores ambientales

- **Zona biogeográfica Alpina, alta protección ambiental**: reservas biosfera, ENPs
- **Red Natura 2000**: 29 % superficie Aragón, existen **muchos LIC y ZEPA**, que contribuyen a mantener la biodiversidad y la conservación de hábitats, fauna y flora
- Es **cabecera de ríos**

Figura 25. Esquema de caracterización del pirineo aragonés y especificidad de valores ambientales. Fuente: elaboración propia.

3.2.1.3. Valoración de los intangibles ambientales en juego

Siguiendo los principios de la Directiva Marco, los objetivos ambientales deben tenerse en consideración y sustentar la base de la planificación en materia de depuración de aguas residuales. Existen una serie de elementos ambientales tangibles y otros intangibles a tener en cuenta en la depuración de aguas residuales. Estos intangibles son difíciles de traducir en unidades monetarias, pero su importancia creciente está fuera de toda duda.

Entre los intangibles ambientales a estudiar se destacan los siguientes:

- **Turbidez del efluente tras la depuración.** La turbidez representa la cantidad de partículas suspendidas en el agua, producida por algas, sedimentos suspendidos y materia orgánica. Una gran cantidad de partículas suspendidas en la masa de agua puede bloquear la luz solar y absorber calor, lo que aumenta la temperatura y reduce la luz disponible para las plantas.
- **Temperatura del efluente tras la depuración.** Su temperatura debe estar dentro de las fluctuaciones estacionales naturales ya que fuera de esos valores el efluente perturbaría los ecosistemas acuáticos. La temperatura afecta la solubilidad del oxígeno y por lo tanto afecta a la fauna acuática, como los peces. Las temperaturas óptimas dependen del tipo de corriente de agua en estudio, siendo en las corrientes de terrenos bajos, conocidas como corrientes de "aguas

templadas" son diferentes de las corrientes de la montaña o de las que provienen de manantiales, que generalmente son frías.

- Creación de ecosistema e integración en el propio ecosistema del lugar.
- Biodiversidad asociada a la depuradora y a los ecosistemas de su entorno. La biodiversidad desempeña un papel importante en el funcionamiento de los ecosistemas y en los numerosos servicios que proporcionan.
- Disfrute del ecosistema por parte de la población. Los ecosistemas y su mantenimiento son la base de nuestra subsistencia, así como del desarrollo económico y social del que depende nuestro bienestar. Los servicios de los ecosistemas son los procesos mediante los que los ecosistemas y las especies mantienen y satisfacen la vida humana.
- Consumo energético. Influye en la consecución de los objetivos de reducción de emisiones de dióxido de carbono contemplados en el Protocolo de Kioto, dando lugar a graves afecciones medioambientales.
- Emisiones / sumidero de gases: como dióxido de carbono y concentraciones de elementos y compuestos químicos existentes en el efluente.
- Sustancias químicas introducidas en el efluente. Ciertos sistemas convencionales recurren a la cloración como parte de la depuración de las aguas, siendo muchos de los derivados clorados controvertidos debido a los posibles efectos negativos que producen en el medioambiente y la salud de los seres vivos.

3.2.1.4. Capacidades y limitaciones para gestionar el servicio

Es imprescindible conocer las limitaciones locales en los que respecta al presupuesto disponible, el cual varía mucho según el método de depuración elegido y su diseño. También en cuanto al grado de autosuficiencia de sistema, siendo conveniente minimizar la dependencia energética externa, y tener la capacidad de producir plantas en lugar de comprarlas, etc. Así mismo, deben conocerse las limitaciones asociadas a la disponibilidad de terreno, disponibilidad social, capacidad de gestión, técnica y económica para el mantenimiento y explotación de las estaciones de depuración por parte de los locales.

Las pequeñas comunidades, sobre todo las rurales, acucian más las limitaciones asociadas a la capacidad técnica y económica, que dificulta la provisión de los servicios de saneamiento y depuración en las mismas. En el pirineo aragonés ciertos núcleos pueden tener difícil acceso a las grandes redes de saneamiento conectadas a sistemas de depuración convencional centralizados, por razones de lejanía u orografía compleja. En algunos núcleos donde se dan fuertes variaciones de caudal y carga contaminante resulta más difícil cumplir los objetivos de concentración en los efluentes depurados.

Las estaciones depuradoras basadas en sistemas ecológicos son una alternativa racional puesto que pueden ser diseñadas y construidas a la carta, atendiendo al contexto específico, sin caer en dificultades de gestión ni sobredimensionamientos que imposibiliten el pago por el servicio de depuración. Se trata de sistemas que se pueden construir más fácilmente que las convencionales, pero hay que contar con profesionales que redacten un proyecto técnico, puesto que no es sencillo su diseño empleando datos y ecuaciones disponibles en la literatura, así como un estudio de impacto ambiental.

Es preciso conocer el funcionamiento de las depuradoras basadas en sistemas ecológicos para su correcta gestión. Su explotación es más sencilla y menos costosa que la de las técnicas intensivas, en especial en cuanto al coste energético y al coste asociado a la gestión de lodos. Presentan como ventaja no necesitar mano de obra especializada (Dirección General del Medio ambiente de la Comisión Europea, 2001).

En general, los sistemas de depuración extensivos o basados en sistemas ecológicos, suponen un ahorro medio del 20 al 30% sobre los costes de inversión, y del 40 al 50% sobre los gastos de funcionamiento, en comparación con los sistemas convencionales (Dirección General del Medio ambiente de la Comisión Europea, 2001).

3.2.1.5. Elección de técnicas apropiadas para el pirineo

La depuración en el pirineo aragonés se ve condicionada a dos características esenciales del territorio, por un lado la existencia de un elevado número de pequeños núcleos rurales, y por otro el fracaso que ha supuesto implantar ciertos sistemas de depuración convencionales en poblaciones pequeñas, debido a la falta de adecuación de la tecnología empleada en el contexto local, tanto ambiental como técnica y económicamente, así como al sobredimensionamiento de las obras.

Para elegir el sistema más adecuado a emplear es preciso considerar el conjunto de alternativas de depuración existentes. No existe una única solución tecnológica que se presente como válida para aplicar a la variedad de poblaciones del pirineo. Se debe elegir una opción adecuada a los recursos técnicos y económicos disponibles, buscando una gestión simple de los posibles lodos que se generen, un mantenimiento sencillo, unos costes de implantación y explotación mínimos y minimizar o incluso anular la dependencia energética y el uso de químicos, debe además ser un sistema robusto con capacidad de autorregulación ante variaciones en el caudal y en la carga contaminante, y con la mayor integración ambiental posible, a ser posible buscando la creación de un valor añadido, educativo, recreativo o turístico.

En España, y concretamente en Aragón, los sistemas de depuración convencional aplicados a municipios pequeños y medianos, han tenido problemas de funcionamiento y muchos se encuentran parados actualmente debido a los elevados costes de explotación asociados a los sistemas implantados. Las EDAR en las pequeñas aglomeraciones urbanas no deben diseñarse como meros modelos a escala reducida de las grandes instalaciones de depuración, puesto que esto implica unos costes de explotación y mantenimiento inasumibles por las entidades responsables. Los sistemas ecológicos de depuración son una opción especialmente interesante para depurar vertidos urbanos del medio rural dada su versatilidad y adaptabilidad, su integración paisajística y su menor coste de implantación y explotación (CENTA; Instituto Tecnológico de Canarias, 2006). La aplicación de sistemas ecológicos al tratamiento de las aguas residuales viene desarrollándose hace décadas en todo el mundo. Es especialmente adecuado aplicarlas en las pequeñas y medianas colectividades debido a su alto rendimiento en la eliminación de patógenos, su facilidad de operación y mantenimiento, su integración ambiental y su escaso o nulo consumo energético. Deben diseñarse con sistemas de seguridad, siendo recomendable que cuenten con varios canales o lechos, para permitir hacer frente a las variaciones de caudal y carga contaminante asociadas a muchos núcleos del pirineo aragonés, dada la gran variedad

de habitantes según épocas del año. Esto te permite además funcionar con un lecho en caso de ser necesario realizar labores de mantenimiento en otro.

Tal y como se ha comentado el en apartado de “Situación actual y proyectos de depuración planteados por el Instituto Aragonés del Agua”, actualmente el Gobierno de Aragón se plantea el poner en marcha un "Plan B", que reduciría las 297 obras pendientes del Plan Pirineos a 29, 4 grandes (Biescas, Sallent, Panticosa y Benasque) y 25 pequeñas, construyendo depuradoras sólo en los municipios con más de 600 h-e. Entre las grandes faltan 3 de construir, ya que la de Biescas ya está en funcionamiento. Como se ha especificado en la tabla 7, según datos del año 2011 existen 17 entidades, con una carga superior a 2000 h-e de diseño, que no cuentan con tratamiento de sus aguas residuales (La Calle Marcos, 2013). Sin embargo, la mayoría de municipios del pirineo aragonés que carecen de estación de tratamiento de aguas residuales son poblaciones pequeñas, con menos de 2.000 h-e, y además la mayoría de las depuradoras contempladas en el Plan B, que faltan por construir, están vinculadas a pequeñas poblaciones.

En poblaciones menores de 2.000 h-e la normativa (Real Decreto Ley 11/95) exige un “tratamiento adecuado” de las aguas residuales, entendido como el tratamiento que permita que las aguas receptoras cumplan después del vertido los objetivos de calidad previstos. Se trata de un concepto mucho más amplio y flexible que los límites de emisión establecidos reglamentariamente para grandes vertidos. Por lo tanto, la mayor o menor intensidad del sistema de depuración dependerá de la naturaleza del vertido y del medio receptor.

En conclusión, en la zona del Pirineo Aragonés tiene especial relevancia abordar el tratamiento adecuado en pequeñas poblaciones, siendo éstas las que actualmente presentan mayores carencias en lo que al tratamiento de sus aguas residuales se refiere. En este tipo de población, rural y dispersa, caracterizada por importantes fluctuaciones de caudal y carga contaminante, debe hacerse un gran esfuerzo para mejorar el saneamiento y la depuración y se debe garantizar un correcto funcionamiento de las estaciones de tratamiento de aguas residuales tal que asegure que el vertido final cumpla con lo que dicta la legislación vigente.

Elección de técnicas apropiadas

Gran reto → elegir **tecnología adecuada al contexto** de cada población

Buscar soluciones de depuración

- **Eficientes** en la remoción de contaminantes
- Con **bajo coste** económico y mínima dependencia energética
- **Integración paisajística**
- **Adecuada a recursos técnicos y económicos** disponibles
- Que **soporte variaciones de caudal y carga** contaminante
- Con **mantenimiento sencillo**

Depuración
basada en
**sistemas
ecológicos**

Es especialmente adecuada en **pequeñas y medianas poblaciones**

Figura 26. Esquema de elección de técnicas de depuración apropiadas al pirineo aragonés.
Fuente: elaboración propia.

Siguiendo los criterios establecidos en el apartado “3.1.3. Criterios para la elección de la técnica de depuración apropiada”, y atendiendo al contexto local, en el caso del pirineo se recomienda aplicar las siguientes técnicas de tratamiento de aguas residuales:

Pretratamiento: desbaste, desarenado, desengrasado.

Tratamiento primario:

El TI, FS, DP tienen bajos requerimiento de superficie, potencial medio para generar malos olores, potencial bajo para generar ruidos, y bajos costes de implantación y explotación. En el contexto pirenaico son más adecuados el FS (adecuado entre 50-200 h-e) y TI (adecuado entre 50-1000 h-e) dada su mayor tolerancia a las bajas temperaturas, y la menor generación de fangos en comparación con el sistema de DP (adecuado entre 500-2000 h-e).

Tratamiento secundario:

En zonas donde se disponga de poca superficie para la instalación del sistema de depuración, se den bajas temperaturas y la población pueda hacer frente a altos costes de explotación son indicadas las técnicas LB, SBR, AP, CBR. Debe tenerse en cuenta que éstas presentan los inconvenientes de tener un bajo grado de integración paisajística y generan grandes cantidades de fangos que deben retirarse frecuentemente. LB es el de mayor potencial para generar malos olores, sin embargo LB junto a CBR generan

menos ruido que AP y SBR. SBR y AP son altamente adaptables a grados de contaminación media y fuerte, y se adaptan mal a niveles de contaminación débiles. LB y CBR tienen alta capacidad de adaptación a aguas con contaminación media y débil. LB y AP tienen alta capacidad de adaptación a variaciones estacionales de caudal.

En el pirineo aragonés es común el hecho de que la demanda de agua y en consecuencia el vertido no permanecen constantes en el tiempo. En general los grados de contaminación son débiles o medios y en muchas poblaciones se producen variaciones de población estacionales debidas al turismo, lo que supone una considerable variación del caudal total a depurar. Por lo tanto, entre las técnicas intensivas la más adecuada es el LB.

El uso de sistemas de depuración basados en la fitodepuración no supone un problema en la zona pirenaica, a no ser que sea una población que no disponga de espacio suficiente para su instalación, puesto que el espacio disponible condiciona la elección de la técnica a emplear en mayor medida que las condiciones climáticas.

La climatología y la orografía no son un factor limitante para aplicar sistemas de fitodepuración en la depuración en el pirineo. Si bien es cierto que los rendimientos pueden ser inferiores en invierno, puesto que al bajar las temperaturas del agua puede reducirse la cinética de degradación de carga contaminante⁷⁰, por lo que puede ser conveniente aplicar un factor de seguridad en el dimensionado de la depuradora. Esto puede solucionarse colocando un aislamiento, por ejemplo paja. Por el contrario, existen estudios en Dinamarca en los que no se constata ninguna diferencia de rendimiento en estaciones ubicadas en sitios donde tienen lugar heladas, puesto que los principales encargados del proceso depurativo son los microorganismos y no las helófitas. Cabe reseñar que existen sistemas de humedales funcionando correctamente en refugios de montaña en Austria.

En conclusión, la probable disminución de efectividad de la depuración de las helófitas y de los microorganismos asociados a ellas en invierno en la zona pirenaica, se muestra asumible dentro de los parámetros que marca la legislación española y normativa europea. Sin embargo, esto debe comprobarse con mediciones periódicas de la carga contaminante del efluente depurado. Cabe destacar que en las zonas de montaña esto se contrarresta con el mayor caudal que llevan las masas de agua en invierno, que hace que la contaminación se diluya en mayor medida y el problema sea menor.

Los humedales de flujo horizontal soportan fácilmente largos periodos de heladas. Los de flujo vertical pueden soportar periodos de heladas sin reducir de manera importante la calidad del tratamiento, pero no pueden soportarlas durante largos periodos en ausencia de protección, puesto que la alimentación de flujo es alternada. Por lo tanto, debe evitarse la implantación humedales de flujo vertical o lagunaje en zonas climáticas de frío extremo, como existir en ciertos núcleos del Pirineo Aragonés.

⁷⁰ La temperatura influye en el ciclo del nitrógeno, en parámetros como la DBO₅ no está clara su influencia y no afecta a la eliminación de los SS.

En general las técnicas extensivas, tienen baja complejidad de operación y mantenimiento, no presentan dificultades de gestión de fangos, tienen bajo potencial de generar ruidos, un alto grado de integración ambiental, y tienen alta capacidad de depuración de aguas residuales de contaminación débil y media. Los costes de implantación son bajos en FA, medios en LA, HSFV y altos en HSFH, IP, y los de explotación son altos en IP y medios en el resto.

FA y HSFV tienen menores requerimientos de superficie y se adaptan mejor a la fuerte que el resto. La IP es adecuada para una población de 50-1000 h-e, y el resto son aplicables de 50-2000 h-e. Todas tienen baja tolerancia a bajas temperaturas, excepto el HSFH que tiene tolerancia media y es por lo tanto la más adecuada para la zona del pirineo

Del análisis de las tablas anteriores puede concluirse que como tratamiento secundario, en general los Humedales son sistemas que se presentan como adecuados para las condiciones pirenaicas. Se observa que son apropiados para todo rango de población comprendido entre los 50-2000 h-e. Son sistemas con altos requerimientos de superficie, toleran medianamente las bajas temperaturas, son sencillos de operación y mantenimiento. En cuanto a la flexibilidad de adaptación ante cambios de caudal y carga: tienen alta capacidad de adaptación a aguas residuales de contaminación media y débil, se adaptan bien o muy bien a las variaciones de caudal diarias aunque tienen baja capacidad de adaptación a variaciones estacionales de caudal. Presentan costes de implantación y explotación generalmente medios, generan una baja cantidad de fangos que no es necesario retirar. Su potencial para generar malos olores y ruidos es bajo y su grado de integración paisajística es alto. Dentro de los humedales, los de HSFH toleran mejor las bajas temperaturas que los HSFV, y se adaptan mejor a variaciones diarias de caudal, tienen mejor capacidad de adaptación ante la presencia de aguas residuales de contaminación fuerte, aunque requieren más superficie y los costes de implantación son algo superiores.

En general, dentro de los sistemas de depuración basados en sistemas ecológicos los más recomendables para la zona de pirineos son los que no tienen el agua libre, como por ejemplo **el sistema de humedal artificial de flujo subsuperficial horizontal (HAFSSH)** ya que tiene menos mecánica asociada y reaccionan mejor a las bajas temperaturas que otros sistemas ecológicos.

A continuación se exponen situaciones concretas que pueden darse en la zona pirenaica en las que fuera más interesante aplicar algún método distinto o combinación con los humedales:

- Si la contaminación es débil, se cuenta con amplia superficie de terreno, y las temperaturas son medias, se recomienda aplicar el HAFSSH.
- si la contaminación es media, se cuenta con una superficie de terreno moderada y las temperaturas no son especialmente bajas, es recomendable la aplicación de FA o HAFSV.
- Si la contaminación es media o débil, se cuenta con poca superficie de terreno, las temperaturas no son muy bajas, el dinero con que se cuenta es moderado-alto (costes de explotación altos), se trata de una zona poco singular en cuanto al paisaje y no es demasiado condicionante la integración paisajística de la depuradora y existen variaciones altas de caudal estacionales: LB.

Pretratamiento: desbaste, desarenado, desengrasado

Tratamiento primario: los más adecuados **FS** (50-200 h-e) y **Tanque Emscher** (50-1000 h-e): > tolerancia bajas T y < generación de fangos

Tratamiento secundario:

Técnicas convencionales el más adecuado **LB**: alta capacidad de adaptación a contaminación media y débil y a variaciones estacionales Q

Técnicas basadas en sistemas ecológicos: **humedales**

Los +recomendables son los que **NO** tienen **agua libre (HAFSsH)**: < mecánica asociada, soportan bajas T, variaciones diarias de Q y contaminación media-débil, aunque requieren > superficie y tienen > costes de implantación

Situaciones concretas :

- **Contaminación débil, mucho terreno, y T medias** → **HAFSsH**
- **Contaminación media, terreno moderado, T no muy baja** → **FA o HAFSsV**
- **Contaminación media - débil, poco terreno, T no muy bajas, capacidad asumir > costes, altas variaciones Q estacionales, y soporta baja integración paisaje** → **LB**

Figura 27. Esquema de técnicas de depuración recomendadas para el pirineo aragonés.
Fuente: elaboración propia.

3.2.2. Valoración económica

3.2.2.1. Características económicas de la depuración ecológica y comparación con las tecnologías convencionales

Introducción: Justificación y relevancia de los costes

En el presente apartado vamos a continuar con el estudio económico, ahora analizando las características económicas de las Tecnologías No Convencionales (TNC)⁷¹ de depuración para defender el uso de este tipo de tecnologías frente a las Tecnologías Convencionales (TC), ya analizadas en el caso del Pirineo. Para ello nos basaremos en las últimas investigaciones científicas sobre las TCN.

Según el Manual de depuración en pequeñas poblaciones editado por Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino elaborado por el CEDEX⁷² (2010) los criterios económicos se deben tener en cuenta a la hora de seleccionar determinada tecnología de depuración debido a las limitaciones de recursos de las pequeñas

⁷² Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas.

poblaciones y sus Ayuntamientos. Así, “la mayor o menor capacidad económica y de gestión de una aglomeración depende de varios aspectos”, que son:

1. *El tamaño de la población*, que hace perder los posibles efectos beneficiosos de las economías de escala⁷³.
2. *De su nivel económico*.
3. *De la existencia de un canon de saneamiento y un sistema organizado de gestión supramunicipal*.

Además, aunque deben tenerse en cuenta tanto los costes de implantación como de explotación, “es importante tener en cuenta la mayor relevancia de los costes de explotación frente a los de implantación”, por dos motivos:

1. La amortización de las instalaciones (por habitante equivalente y año) supone un coste “relativamente bajo” frente a los gastos de explotación.
2. Son los costes de explotación, y no los de implantación, los responsables del “fracaso de muchas pequeñas instalaciones de depuración”.

Cuando hablamos de pequeñas “aglomeraciones urbanas” nos referimos a núcleos de 2.000 habitantes o menos, y que adolecen de la siguiente problemática en materia de depuración de sus aguas residuales (Alianza por el Agua, CENTA, 2008):

- *El hecho de no poder aprovechar las ventajas que supone la economía de escala como consecuencia de su pequeño tamaño, lo que conduce a que los costes de implantación y de mantenimiento y explotación por habitante sean elevados. Además, en poblaciones dispersas los costes de saneamiento se incrementan notablemente.*
- *La escasa capacidad técnica y económica para el mantenimiento y explotación de estaciones de tratamiento de aguas residuales.*

Ventajas económicas de las TNC

Las características y ventajas que presentan y definen a las Tecnologías No Convencionales son (Alianza por el Agua, CENTA, 2008):

- *Gasto energético mínimo.* Mientras que los costes energéticos de las TC suponen unos dos tercios de los costes totales, en las TNC resultan nulos o muy reducidos. Este input de energía en las TC es el que permite acelerar los procesos (son tecnologías “intensivas”), que en las TNC se dan de forma natural. Por contra, las TNC requieren de mucha más superficie de terreno que las primeras (es decir, son extensivas) para que se den los procesos de depuración.
- *Simplicidad de mantenimiento y explotación.* El coste también se abarata en el caso de las TNC debido a los menores costes de personal (que, en general no requieren de personal especializado) y por menores (o nulos) gastos por averías de equipos electromecánicos. Además el trabajo necesario es comparable con el agrícola, y puede ser realizado por los habitantes de las zonas rurales. En las TC,

⁷³ Concepto económico que significa que al aumentar la producción se reducen los costes medios unitarios del producto o servicio. El concepto de deseconomías de escala hace referencia al efecto contrario: al aumentar la producción aumenta el coste medio unitario del producto o servicio.

en cambio, los costes de personal suponen un tercio aproximadamente (los otros dos tercios eran debidos a costes energéticos).

- *Garantía de funcionamiento eficaz frente a grandes oscilaciones de caudal y carga en el influente a tratar.* Esta resistencia a las alteraciones diarias de caudal y carga, propias de pequeñas aglomeraciones urbanas, se debe al carácter extensivo en terrero de las TNC y les permiten amortiguar asimismo incidencias puntuales. Por contra, tienen la desventaja de que una vez se pasa su capacidad, vuelven de manera muy lenta a la normalidad.
- *Simplificación en el manejo de los lodos.* La gestión de los lodos durante el proceso de depuración es una parte importante de los costes totales de explotación, y se ve simplificada con las TNC mediante diversos mecanismos (según la tecnología elegida). Los fallos en el funcionamiento de estos sistemas están debidos a la mala planificación, y con mal diseño y construcción en la fase de mantenimiento.

Criterios de selección de las TNC, y su estructura de costes

A la hora de optar por una determinada Tecnología No Convencional para depurar las aguas residuales de una pequeña aglomeración urbana, hay que tener en cuenta varios factores (CENTA, 2006). Como nos interesa en esta parte del trabajo la valoración típicamente económica, nos centraremos en el capítulo de costes y, dentro de estos, en los de explotación y mantenimiento ya que son más relevantes que los de implantación:

- *Tamaño de la población a tratar.* El número de habitantes equivalentes determina los m² que optimizan los procesos de cada TNC.
- *Condiciones climáticas de la zona donde se implanta la EDAR.* Los fenómenos meteorológicos determinan qué tipo de TNC es viable.
- *Impacto ambiental.* En general puede ser mínimo o nulo, incluso positivo, aunque se debe tener en cuenta para algunas tecnologías.
- *Costes de explotación y mantenimiento.* La investigación resalta que es en estos costes “dada la escasez de recursos de los Ayuntamientos de los pequeños municipios, donde las Tecnologías no Convencionales ofrecen sus principales ventajas en comparación con los sistemas Convencionales de depuración de aguas residuales.” Como veremos, los de mayor importancia en la explotación serán los de personal y energéticos, mientras que con respecto al mantenimiento habrá que atender principalmente a los de tratamiento, transporte y evacuación de los lodos generados (y para algunas tecnologías, también los de mantenimiento de los equipos electromecánicos).

A continuación pasamos a resumir los costes (de mantenimiento y explotación) a tener en cuenta en relación a cada tipo de tecnología:

1. **El coste de personal:** “uno de los factores con mayor incidencia sobre el coste total de explotación.” El trabajo de explotación y mantenimiento requerido en

las tecnologías de Filtros Verdes (FV), Humedales Artificiales (HA) y Lagunajes (L) y Filtros de Turba (FT) no requiere de personal cualificado, lo que supone un abaratamiento de la mano de obra. Además, como hemos visto la similitud de estas tecnologías con el trabajo agrícola constituye un factor que permite favorecer el empleo rural, lo que implica consolidar la población rural. Por otro lado, los Lechos Bacterianos (LB), Contadores Biológicos Rotativos (CBR) y Aireaciones Prolongadas (AP) son tecnologías más complejas que sí requieren mano de obra cualificada, especialmente las AP.

2. **Los costes de mantenimiento electromecánico:** Se deben considerar para las tecnologías de LB, CBR, y AP, mientras que para el FV, HA y FT estos costes son nulos, dado que no requieren de equipos electromecánicos.
3. **Costes de la energía crítica consumida:** Bajo una adecuada planificación de los procesos, el consumo energético puede ser nulo para los FV, HA, L y FT. En cambio, los LB, CBR y AP si necesitan consumo energético, especialmente las AP.
4. **Costes del tratamiento, transporte y evacuación de los lodos generados en el proceso de depuración:** Son una parte importante dentro de los costes de explotación, aunque esta importancia varía mucho de una tecnología a otra.

Estimación de costes según rangos de población

A continuación se muestran los valores estimados de costes de explotación y mantenimiento, y de implantación, referentes a las tecnologías estudiadas por el CEDEX. Las tablas correspondientes están extraídas del citado Manual (Ortega de Miguel, y otros, 2010). Se expone en primer lugar los acrónimos empleados para cada tecnología:

Tabla 39. Tipos de tratamiento de aguas residuales y su correspondiente acrónimo. Fuente: Ortega de Miguel, y otros, (2010).

Tratamiento	Acrónimo	Tratamiento	Acrónimo
Fosa Séptica	FS	Filtro intermitente de Arena (con recirculación)	FAI _r
Tanque Imhoff	TI	Infiltración-Percolación	IP
Decantación Primaria	DP	Contactor Biológico Rotativo	CBR
Lagunaje	LA	Lecho Bacteriano	LB
Humedal Artificial Flujo Subsuperficial Vertical	HFSV	Aireación Prolongada	AP
Humedal Artificial Flujo Subsuperficial Horizontal	HFSH	Reactor Secuecial	SBR
Filtro de Turba modificado	FT _m ¹	Reactor Biopelícula sobre Lecho Móvil	MBBR
Filtro Intermitente de Arena	FIA		

Costes de explotación y mantenimiento estimados en cada una de las tecnologías con nivel de tratamiento secundario para los valores extremos del rango de población recomendado. (Las tecnologías SBR y MBBR se excluyen por falta de información).

Tabla 40. Costes de explotación en función de la tecnología de depuración empleada y el rango poblacional. Fuente: Ortega de Miguel, y otros, (2010).

Tecnología	Rango de población (h-e)	Costes de explotación (€/h-e.año)
LA	100-1.000	34-8
HFSV	100-1.000	48-18
HFSH	100-1.000	48-18
FT _m	100-1.000	44-14
FIA	100-1.000	44-15
FIA _r	100-1.000	44-15
IP	100-1.000	41-14
CBR	500-2.000	24-16
LB	500-2.000	25-17
AP	500-2.000	34-22

).

Clasificación de las tecnologías en función de los costes de explotación y mantenimiento, tomando como referencia el coste de explotación estimado para una población de 1.000 habitantes equivalentes.

Tabla 41. Costes de explotación para una población de 1000 h-e en función de la tecnología de depuración empleada. Fuente: Ortega de Miguel, y otros,(2010).

Costes de explotación	Tecnologías
≤ 10 €/habitante equivalente.año	LA
10-20 €/habitante equivalente.año	HFSV / HFSH / FT _m / FIA / FIA _r / IP / CBR / LB
> 20 €/habitante equivalente.año	AP

Costes de implantación estimados para cada tecnología, incluyendo la urbanización de la parcela y los correspondientes a la totalidad de las instalaciones de la EDAR. (Las tecnologías SBR y MBBR se excluyen por falta de información).

Tabla 42. Costes de implantación en función de la tecnología de depuración empleada y el rango poblacional. Fuente: Ortega de Miguel, y otros, (2010).

Tecnología	Rango de población (h-e)	Costes de implantación (€/h-e)
LA	50-1.000	800-250
HFSV	50-1.000	450-250
HFSH	50-1.000	450-270
FT _m	50-1.000	440-220
FIA	50-1.000	420-220
FIA _r	50-1.000	400-160
IP	50-1.000	390-260
CBR	200-2.000	490-340
LB	200-2.000	700-200
AP	500-2.000	300-100

Clasificación de las tecnologías en función de los costes de implantación, tomando como referencia los estimados para una población de 1.000 habitantes equivalentes.

Tabla 43. Costes de implantación para una población de 1000 h-e en función de la tecnología de depuración empleada. Fuente: Ortega de Miguel, y otros, (2010).

Costes de implantación	Tecnologías
100-200 €/habitante equivalente	FIA _r / AP
200-300 €/habitante equivalente	LA / HFSV / HFSH / FT _m / FIA / IP / LB
> 300 €/habitante equivalente	CBR

Comparativa de costes: Tecnologías convencionales frente a las ecológicas

A continuación se presenta, a modo de ejemplo, una comparativa de costes entre 3 núcleos de población del Pirineo (para los que hay datos del IAA de costes de construcción y explotación⁷⁴) con los estimados por el CEDEX.

Tabla 44. Comparativa de costes entre 3 núcleos de población del Pirineo Fuente: elaboración propia a partir de datos del IAA.

Núcleos servidos	Coste construcción (€)	Coste explotación (€/20 años)	Coste de explotación anual	Capacidad carga (h-e)	Costes de implantación (€/h-e)	Costes de explotación (€/h-e.año)
Arén	1.013.267	1.633.397	81.669'85	1.042	972'4	78'38
Benabarre	1.088.150	1.294.970	64.748'5	1.400	777'25	46'25
Castejón de Sos	1.545.263	6.585.858	329.292'9	3.000	515'09	109'76

En rojo se resalta que los costes son mayores a los estimados por el CEDEX, Castejón de Sos no se toma en cuenta ya que su población excede los 2.000 h-e. En los dos primeros casos, los de Arén y Benabarre, se encuentra que:

- Costes de implantación (construcción): Son superiores al intervalo de costes determinado para poblaciones de entre 200 y 2.000 habitantes, y que se sitúa entre 100 y 700 €.
- Costes de explotación (€/h-e.año): Son superiores al intervalo de costes determinado para poblaciones de entre 200 y 2.000 habitantes, y que se sitúa entre 16 y 34 €/h-e.año.

De esta manera se observa cómo las TNC habrían sido inequívocamente más ventajosas en términos de costes en los dos núcleos mencionados, según las estimaciones del CEDEX.

Por otro lado, en virtud de las economías de escala cabría esperar que un dimensionamiento mayor de la EDAR conllevara que los costes de explotación

⁷⁴ Según datos del IAA, en respuesta a la información solicitada por la Red Pública de Agua de Aragón a fecha 14 de marzo de 2013, las 3 obras de depuración que utilizamos en este análisis comparativo se encuentran paralizadas por abandono unilateral de las mismas por parte de la empresa concesionaria.

crecieran pero en menor medida. Es decir, que si duplicáramos la capacidad de depuración, los costes de explotación aumentarían menos del doble. Pero vemos en el ejemplo que el caso de Castejón de Sos con respecto a los otros dos núcleos, mientras que los h-e casi triplican a los de Arén, y más que duplican a los de Benabarre, los costes de explotación anuales son 4 y 5 veces más respectivamente.

Aunque de una muestra tan pequeña no se pueden extraer conclusiones generales, estos ejemplos apoyan las últimas investigaciones científicas como se recuerda a continuación.

- *Con frecuencia, las plantas depuradoras para el tratamiento de los vertidos generados en las pequeñas aglomeraciones urbanas, se han concebido y diseñado como meros modelos a escala reducida de las grandes instalaciones de depuración. Como consecuencia, un gran número de estaciones de tratamiento de pequeños núcleos de población presentan unos costes de explotación y mantenimiento difícilmente asumibles (CEDEX, 2010). Y también:*
- *Son en estas pequeñas aglomeraciones donde se presentan más carencias en lo que al tratamiento de las aguas residuales se refiere, debido principalmente a que con mayor frecuencia de lo deseado, las estaciones depuradoras para el tratamiento de las aguas son concebidas y diseñadas como meros modelos a escala reducida de las grandes instalaciones convencionales de depuración. Como consecuencia directa de esta forma de actuar, estas estaciones no responden adecuadamente a los caudales y cargas existentes y por lo general los costes de explotación y mantenimiento son difícilmente asumibles por las entidades responsables, lo que se traduce en que las instalaciones no operen adecuadamente. Con el añadido de que en poblaciones dispersas (como las del Pirineo) los costes de saneamiento se incrementan notablemente (CENTA, 2006).*

Economías de escala: Tecnologías convencionales frente a las ecológicas

En este apartado, partiendo de las características económicas básicas de las TC y las ecológicas, realizamos una reflexión en torno al concepto de economías de escala.

Economías de escala hace referencia a una situación en la que al aumentar la producción, los costes aumentan pero en menor medida (por ejemplo: triplicar la producción y que se dupliquen los costes), de manera que el coste medio por unidad cae. Por el contrario, por *Deseconomías de escala* entenderemos el efecto contrario: al aumentar la producción los costes aumentarán en mayor medida, de manera que el coste medio unitario ascendería al aumentar la producción.

Caracterizamos sintéticamente a las tecnologías de la siguiente manera:

- EDAR convencionales: Son intensivas. Requieren de menor superficie y de un mayor input de energía (mayores costes energéticos).
- EDAR ecológicas: Extensivas; Requieren una mayor superficie de terreno, y su consumo energético es nulo o mínimo.

De esta manera, en base al tamaño poblacional se pueden considerar las ventajas de una u otra técnica en términos de costes monetarios.

Así, en una **pequeña población** una EDAR ecológica obtendría una ventaja en costes frente a una convencional, dado que presentaría economías de escala derivadas de los menores costes energéticos.

En cambio, la situación sería inversa en una **gran población**. La EDAR ecológica perdería sus economías de escala debido a la gran superficie de terreno necesaria, mientras que la convencional obtendría economías de escala al repartir los costes energéticos entre una mayor población.

	EDAR ECOLÓGICA	EDAR CONVENCIONAL
PEQUEÑA POBLACIÓN	ECONOMÍAS DE ESCALA Reducidos costes (€/h-e) - Bajos costes energéticos	DESCECONOMÍAS DE ESCALA Grandes costes (€/h-e) - Elevados costes energéticos por h-e
GRAN POBLACIÓN	DESCECONOMÍAS DE ESCALA Grandes costes (€/h-e) - Coste de oportunidad del terreno	ECONOMÍAS DE ESCALA Reducidos costes (€/h-e) - Gastos energéticos se reparten entre mayor población

Figura 28. Influencia de las economías de escala en pequeñas y grandes poblaciones según si se emplea tecnología de depuración convencional o ecológica. Fuente: elaboración propia.

3.2.2.2. Herramientas para la toma de decisiones

El Análisis Coste Eficacia

Hemos visto que existen variadas Tecnologías No Convencionales de depuración. El gestor público debe decidir qué tecnologías se consideran, y para ello debe elegir entre tecnologías convencionales y no convencionales, y dentro de ellas las múltiples variantes que presentan. ¿Cómo elegir? ¿Qué criterios se deben seguir a la hora de seleccionar una determinada tecnología u otra? En este apartado presentamos un instrumento de ayuda a la toma de decisiones.

Según explica la Comisión Europea (Comisión Europea, 2006), “el análisis coste-eficacia es una herramienta de ayuda a la decisión. Su finalidad es identificar la manera más eficaz, desde el punto de vista económico, de alcanzar un objetivo. En el marco de la evaluación, este análisis permite contrastar la eficacia económica de un programa o de un proyecto”. En concreto, “permite comparar entre sí políticas, programas o proyectos. Se confrontan diversas alternativas con el principal objetivo de elegir la más adecuada para obtener un resultado concreto al coste menos elevado posible.”

La Directiva Marco del Agua, establece el ACE para la consecución de los objetivos ambientales de las masas de agua. Esta normativa comunitaria se recoge en

España por medio del Reglamento de Planificación Hidrológica que en su artículo 58 declara que (Grupo de Análisis Económico del Agua; MMA, 2009):

- 1. El análisis coste-eficacia será un instrumento a tener en cuenta para la selección de las medidas más adecuadas para alcanzar los objetivos ambientales de las masas de agua, así como para analizar las medidas alternativas en el análisis de costes desproporcionados.*
- 2. Para realizar el análisis coste-eficacia se partirá de la evaluación del estado de las masas de agua correspondiente al escenario tendencial y su diferencia respecto a los objetivos ambientales. La evaluación de los estados correspondientes a la aplicación de las distintas medidas y la diferencia respecto a los objetivos ambientales permitirá analizar la eficacia de estas medidas.*
- 3. En la selección del conjunto de medidas se tendrán en cuenta, además de los resultados del análisis coste-eficacia, los efectos de las distintas medidas sobre otros problemas medioambientales, aunque no afecten directamente a los ecosistemas acuáticos, de acuerdo con el proceso de evaluación ambiental estratégica del plan indicado en este Reglamento.*

En resumen el ACE permite, dado un conjunto de alternativas que cumplen un determinado objetivo, elegir aquella alternativa que presenta un menor coste monetario. Representamos esquemáticamente la esencia del ACE:

- Definir el objetivo: Depuración
- Este objetivo está sujeto a unas restricciones o límites: Cumplir con la normativa ambiental y social.
- Selección de aquellas opciones que cumplen con el objetivo: Tecnologías de depuración viables técnicamente.
- Elección de la tecnología a emplear: Aquella que, sujeta a los anteriores supuestos, presente menor coste.

Aproximación a un Análisis Coste-Eficacia de la depuración en Aragón

A falta de la existencia de parcelas piloto o estudios realizados en Aragón que supongan una estimación de los costes de las distintas alternativas de depuración en relación al cumplimiento de los objetivos, recurrimos al estudio de costes asociados a una depuradora basada en sistemas convencionales en comparación con los vinculados a una depuradora basada en sistemas no convencionales o ecológicos.

Debe resaltarse que según la Directiva Marco, los objetivos ambientales de la depuración prevalecen sobre la valoración económica. Es por esto, que el ACE nos permite elegir la mejor alternativa económica (mínimos costes) para unos objetivos ambientales dados.

La depuración basada en sistemas ecológicos no ha sido considerada en la política de saneamiento de Aragón⁷⁵. La mayoría de Ayuntamientos del Pirineo han cedido sus competencias en materias de depuración a la Comunidad Autónoma, lo que ha promovido la inexistencia de EDAR basadas en sistemas ecológicos en poblaciones

⁷⁵ <http://www.iagua.es/noticias/depuracion/13/09/05/el-gobierno-de-aragon-veta-las-depuradoras-verdes-como-alternativa-35961>

de Aragón y la imposición generalizada de la depuración convencional en el territorio. Como caso excepcional en la Comunidad, el Ayuntamiento de Fabara puso en funcionamiento una EDAR basada en un sistema ecológico de humedales artificiales, y es el ejemplo que emplearemos para establecer una comparativa de costes.

El coste de ejecución de la planta de depuración biológica de aguas residuales de Fabara es de 235.000 euros, mientras una planta de depuración convencional con las mismas prestaciones en Fabara se presupuestaba en 2.400.000 euros (unas 10 veces más). El coste estimado de mantenimiento anual para la planta de depuración biológica es de 13.000 euros, mientras para la planta de depuración convencional con las mismas prestaciones en de 180.000 euros (casi 14 veces más).

datos económicos reales	
coste total proyecto y ejecución	
Planta depuración BIOLÓGICA aguas residuales 235.000 € FABARA	Planta depuración CONVENCIONAL (mismas prestaciones) 2.400.000 € FABARA
coste estimado mantenimiento anual	
Planta depuración BIOLÓGICA aguas residuales 13.000 € FABARA	Planta depuración CONVENCIONAL (mismas prestaciones) 180.000 € FABARA

Figura 29. Comparativa de costes de una planta de depuración biológica frente a una de depuración convencional en la población de Fabara, Fuente: Ayuntamiento de Fabara.

Se realiza ahora otra aproximación: empleando datos técnicos y económicos de la depuradora de Fabara, podemos establecer una comparación con un núcleo de población similar. Como tal se ha escogido Tardienta por tener una población similar (aunque menor), también ubicado en territorio Aragonés, que emplea un sistema convencional de depuración. Como las dos son pequeñas poblaciones (<2.000 habitantes), este ejemplo servirá para comparar los costes y el dimensionamiento correspondientes a una tecnología convencional (Tardienta) con una no convencional (Fabara). La primera fila de la tabla hace referencia a la EDAR de Fabara y la segunda a la de Tardienta.

Tabla 45. Comparativa de costes de una planta de depuración biológica frente a una de depuración convencional en la población de Fabara según datos técnicos y según datos

DATOS ECONÓMICOS		DATOS TÉCNICOS			
Coste construcción (€)	Coste explotación (€/20 años)	Tipo de tratamiento	Población con servicio	Capacidad carga (h-e)	Cumple los objetivos ambientales
235.000	260.000	Humedales artificiales con un monocultivo de plantas superiores (eneas)	1.255	4800	Sí *
986.231	1.240.675	Fangos activados en aireación prolongada	1.040	1.575	Sí **

económicos. Fuente: elaboración propia.

* Según datos del Ayuntamiento de Fabara.

** Según datos del Instituto Aragonés del Agua.

Tal y como se desprende de los datos, se aprecia cómo en este caso:

- Los costes de construcción son 4 veces mayores en el caso de la TNC.
- Los costes de explotación son casi 5 veces mayores para la TNC.

Y ello pese a tener Tardienta menor población con servicio que Fabara, por lo que cabría esperar que sus costes por depuración fueran también menores, lo cual no ocurre como acabamos de ver.

Es más, con una población mayor y unos costes menores, la depuradora de Fabara tiene una capacidad de carga de 4.800 h-e, es decir 3 veces mayor que la depuradora de Tardienta.

Del análisis expuesto en el que en base a datos reales se ha realizado una comparativa de costes como aproximación a un ACE, considerando los casos de 1) EDAR de TNC de Fabara con la EDAR convencional proyectada también para Fabara, y 2) La EDAR en funcionamiento de Fabara (biológica) con la de Tardienta (convencional), se deduce que:

- En los casos analizados queda patente la ventaja en costes que supone una tecnología no convencional o ecológica frente a la tecnología convencional dentro de la escala poblacional planteada, es decir pequeñas aglomeraciones urbanas (<2.000 habitantes).
- Asimismo queda patente la necesidad de, cuanto menos, considerar la TNC o ecológica para poblaciones de menos de 2.000 habitantes. Lo cual no significa que se deban desechar para poblaciones mayores, dado que el objeto del presente trabajo no es tratar de determinar el rango poblacional a partir del cual se deben descartar las TNC. Es decir, en el ámbito del presente trabajo queda manifiesta la potencial ventaja en cuanto a costes de las TNC en los pequeños núcleos.

Indicaciones para la valoración de intangibles y externalidades

El hecho de tener que valorar un proyecto o inversión conlleva un problema debido a la dificultad de valoración monetaria que suponen los aspectos sociales y ambientales, y que siempre están sujetos a controversia. No obstante, tanto la normativa europea y española como el rigor analítico exigen tener en cuenta a estos como elementos de análisis, y se deben considerar para tener una visión razonablemente completa de la realidad que se quiere abordar y así conseguir una buena gestión. Este apartado pretende, de una manera muy introductoria, resaltar la importancia y necesidad de tomar estos aspectos en consideración.

En economía, estos procesos se han conocido genéricamente con el nombre de efectos externos o externalidades. Estos se consideran en la economía tradicionalmente como “fallos de mercado”⁷⁶. Estos efectos externos se caracterizan, en ausencia de regulación, por dos elementos (Segura, 1996):

- 1) *No se reflejan directamente en el sistema de precios.*
- 2) *No son evitables por quien los sufre o beneficia de ellos.*

Es el caso por ejemplo de la contaminación a un río. Si una empresa contamina un curso fluvial, empeora la calidad del agua que se necesita para consumo humano o riego. Esto en ausencia de regulación no se refleja directamente en el sistema de precios, aunque podría reflejarse indirectamente si, por ejemplo, los habitantes aguas abajo tuvieran que hacer frente a mayores costes por potabilización del agua. Por otro lado no son evitables, ya que, siguiendo con el ejemplo, la calidad del agua que llega del río no es un bien que los habitantes puedan comprar o no. En este caso, se dan tanto externalidades ambientales (la misma contaminación del río y por tanto del ecosistema) como sociales (si esa contaminación afecta a la salud o la renta de los habitantes aguas abajo).

En estas externalidades tiene su fundamento el principio comunitario de “quien contamina paga”. Son varias las formas de resolver estos problemas, desde la regulación directa del ente público a la creación de un mercado de contaminación, y aunque profundizar en estos aspectos no es objeto del presente trabajo, cabe decir que la solución depende del reparto de los derechos de propiedad: ¿Debe pagar la empresa a los perjudicados por la contaminación? ¿O debe pagar la población a la empresa para que no contamine o contamine menos (por ejemplo con una subvención para equipamientos ecológicamente más eficientes)? Todo depende de quién tenga los derechos de contaminar⁷⁷.

Los costes sociales también son una parte importante a considerar en la evaluación de proyectos y en la metodología del ACE. Siendo que la DMA y el Convenio de Aarhus recomiendan la participación ciudadana en la gestión, una manera de “revelar” los costes sociales ocultos (sujetos a externalidades) es facilitar esa participación directa ciudadana, de manera que se manifiesten todos los intereses y problemáticas del proceso.

⁷⁶ Fallos de mercado son situaciones en que la asignación de recursos del mercado no es eficiente.

⁷⁷ Para más información recomendamos al lector el artículo “Los Pasivos Ambientales” de Daniela Russi y J. M. Alier de la Universidad Autónoma de Barcelona: http://www.flacso.org.ec/docs/i15_rusi.pdf

En síntesis: en el caso que nos ocupa, el de la depuración, las externalidades que produce el proceso productivo (turismo, industria, construcción etc.) se deben tener en cuenta en base a dos ámbitos:

- El de la calidad de las masas de agua, que justifica la depuración de aquellas que lo necesiten.
- El de, una vez determinada la necesidad de la depuración, tener en cuenta los efectos externos que pueden tener la propia construcción de la depuradora, y esto tanto en cuanto a impactos ambientales como sociales.

3.2.3. Criterios desde una valoración socio-política del conflicto

3.2.3.1. *Gestión participativa, integrada y pública*

Diversos autores afirman que las formas de gobierno tradicional han contribuido al deterioro ambiental y tres son los argumentos que sostienen dicha afirmación: las limitaciones de un gobierno exclusivamente apoyado en supuestas certezas científicas y centrado en el desarrollo económico, la segmentación de la política pública y la “baja calidad democrática”. Las tradicionales formas de gobierno se caracterizan por una toma de decisiones autoritaria, en la que participan un número reducido de actores, con ausencia de debate público y la imposición de la política pública “de arriba-abajo”. Es decir, a través de una visión gerencial los problemas quedan circunscritos a la coordinación dentro de la organización pública y a la capacidad de ejercer el necesario control sobre ella con la ausencia de capacitación del público para su implicación en la toma de decisiones. Esta forma de gobernar, con ausencia de debate público, pierde legitimidad democrática y compromete la calidad de la decisión adoptada que, ni tiene en cuenta las percepciones y opiniones del público general, ni tampoco aboga porque la ciudadanía se identifique con la decisión a tomar, haciéndola suya y responsabilizándose de la misma. Esta situación ha llevado a hablar de “*crisis de gobernabilidad*” y de una cada vez más agravada desafección de la sociedad respecto de aquello que es público.

Las políticas públicas y en concreto las referidas a la protección ambiental deben saber responder a los nuevos retos que se plantean en la sociedad. Tal y como señala Subirats (2010) “*ello debe hacerse desde la proximidad, buscando la atención a la diversidad y la capacidad de mantener la cohesión social*”. No podemos afirmar que la redacción del Plan de Saneamiento del Gobierno de Aragón en sus dos dimensiones (Plan Especial de Depuración y Plan Integral Pirineo) así como su posterior Revisión hayan tenido en cuenta la opinión de los Ayuntamientos afectados ni del resto de agentes sociales y ciudadanía.

La dificultad de acceso a la información no ha fomentado que los interesados hayan podido fundamentar sus opiniones ni presentar posibles propuestas. El desconocimiento de las razones y argumentos que han llevado al diseño de este Plan ha imposibilitado un verdadero debate público sobre la definición de los problemas (un diagnóstico de la situación de partida) y la discusión sobre las distintas soluciones posibles (otros métodos de depuración).

No disponer de datos actualizados ni de información suficiente conlleva a que no se tome conciencia de la problemática y por ende a que no se busquen colectivamente medidas para su solución. El Plan de Saneamiento ha respondido a la lógica de un plan cerrado, sin participación ni transparencia, avocado al fracaso desde el momento en el que no se fomentó la adhesión del mayor número de voluntades, sino más bien al contrario: se obligó a los ayuntamientos a renunciar a sus competencias legalmente reconocidas sin que en ningún momento pudieran participar en la elaboración del mismo. Tan sólo tuvieron conocimiento del mismo el día de su presentación pública⁷⁸.

En estos momentos, en que el Gobierno de Aragón ha anunciado el rediseño del Plan, sería conveniente abordar el problema en clave de “**oportunidad**” y buscar un equilibrio entre todas las dimensiones que entran en juego: la ambiental, la económica, la social y la político-institucional impregnándose de los principios de “*buena gobernanza*” que recoge el Libro Blanco de la Gobernanza Europea⁷⁹: “*apertura, participación, responsabilidad, eficacia y coherencia*”. Es decir, que se avance hacia una forma de gobernar inclusiva, incorporando un abanico más amplio y diverso de actores en la deliberación de las políticas públicas. La inclusión de nuevos actores propiciará que los espacios deliberativos ganen en calidad: un espacio donde se intercambien razones y argumentos, en el que estén representadas todas las voces y donde la comunicación y la información se ofrezcan de forma accesible y comprensible. Ello permitirá un mayor control ciudadano de las políticas y a su vez una mayor eficiencia en la implementación de las decisiones generadas contribuyendo a disipar la posible conflictividad.

En este sentido el Gobierno de Aragón cuenta desde el año 2007 con una Dirección General de Participación Ciudadana que ha impulsado numerosos procesos de participación ciudadana. Desde conflictos históricos de alta complejidad como fue la Mesa de la Montaña en Aragón (Brugué, 2012) hasta procesos vinculados a Planes impulsados desde las distintas Consejerías del Gobierno de Aragón: Plan de Cooperación al Desarrollo 2012-2015; evaluación del II Plan Integral de Convivencia Intercultural 2008-2011; el I Plan estratégico de Servicios Sociales 2012-2015; la Estrategia aragonesa de I+D+i; o el “Diseño de un Plan de mejora de la respuesta asistencial a las víctimas de accidentes de tráfico” en torno al Plan de Seguridad Vial del Gobierno de Aragón.

Este espacio podría abrir la posibilidad de diseñar nuevamente el Plan de Depuración en la zona del Pirineo a través de un proceso participativo que permitiera abordar la problemática desde todos los ámbitos y con todos actores implicados.

Concretamente supondría una oportunidad para realizar un diagnóstico de la situación real con todos los agentes desde el minuto “cero”, es decir, que la participación se lleve a cabo desde los inicios del diseño de la política pública e **integrando** a todas las administraciones implicadas (gobierno multinivel), esto es, los diferentes rangos competenciales.

⁷⁸ Presentación que se llevó a cabo el 2 de marzo del 2011 en el Palacio de Congresos de Huesca a cargo del entonces Consejero de Medio Ambiente, D. Alfredo Boné.

⁷⁹ Unión Europea (2001) “Libro Blanco de la Gobernanza Europea” en: http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/site/es/com/2001/com2001_0428es01.pdf

En definitiva, “*no se puede gestionar la complejidad desde unas estructuras de gobierno construidas sobre premisas simplificadoras*” (Brugué y otros, 2005). Gobernar no debiera seguir siendo tarea de unos pocos expertos sino que debe concebirse como un proceso de aprendizaje social donde los diversos actores aportan sus conocimientos, sus percepciones, sus argumentos y tratan de llegar a definiciones compartidas del problema. En este caso, la zona objeto de estudio reviste de entrada una complejidad estructural, geográfica e institucional. Multitud de administraciones (entidades locales menores, municipios, comarcas, diputaciones provinciales, consejerías autonómicas, ministerio de medio ambiente, unión europea) confluyen en torno al problema a la vez que una pluralidad de actores (entidades conservacionistas, movimientos sociales, agentes sociales, comunidad científica...) forman parte de una red susceptible de participar en la toma de decisiones. Se hace necesario por tanto reconocer y asumir dicha complejidad en clave de oportunidad y enriquecimiento, abordando las políticas de forma más compartida y estratégica, no para dar una solución rápida al problema (como así se desprende del proceso de elaboración del Plan de Depuración del Pirineo) sino para mejorar la capacidad de adaptación de las actuaciones previstas (sistemas de depuración) al medio donde se pretenden implementar desde las perspectivas mencionadas a lo largo de este trabajo (social-institucional, económica y medioambiental) a través de la complicitad y la proximidad, y con el fin último, en este caso, de mejorar su eficiencia reduciendo sus costes a través de una **participación pro-activa** de todos los agentes. Esa participación reconocida en la Convención de Aarhus⁸⁰ (“*acceso a la información, participación del público en la toma de decisiones y el acceso a la justicia en asuntos ambientales*”), debería implicar además que cualquier decisión al respecto de una posible privatización de los servicios públicos de agua y saneamiento no se llevara a cabo a través de un simple acuerdo plenario sino que se adoptase tras un amplio debate público que culminara en una consulta popular o referéndum en su caso⁸¹. El tiempo acotado de cuatro años de mandato (el ciclo político o, como se ha dicho, “la tiranía del mandato”), la limitada disponibilidad de recursos y en otras ocasiones las posibles presiones recibidas inducen al político a un callejón sin salida que puede hipotecar el futuro del municipio y por ende el de sus vecinos. En esas circunstancias sería recomendable que los responsables políticos repensaran su actuación promoviendo un debate público acompañado de la puesta a disposición de información suficiente y fiable para generar, dentro de los espacios participativos que mencionábamos anteriormente, *inteligencia colectiva* que analizara y contrastara las diferentes opciones.

3.2.3.2. *Hacia una nueva cultura de regulación pública*

⁸⁰ Convención sobre acceso a la información, participación pública en la toma de decisiones y acceso a la justicia en temas medioambientales, conocida normalmente como el Convenio de Aarhus, fue firmada el 25 de junio de 1998 en la ciudad danesa de Aarhus.

⁸¹ La Recomendación num. (96)2 del Comité de Ministros del Consejo de Europa de 14 de febrero de 1996, sobre los referéndums e iniciativas populares en el nivel local, se afirma: “el derecho de los ciudadanos a pronunciarse sobre decisiones importantes que afectan al porvenir a largo plazo... forma parte de los principios democráticos comunes a todos los Estados miembros del Consejo de Europa”. El art. 71 de la Ley de Bases de Régimen Local establece los límites que permiten acotar el objeto de las consultas populares locales y el procedimiento para su consulta. En su apartado e) se recoge: “los asuntos objeto de la consulta popular deben reunir los siguientes requisitos: ser de la competencia municipal propia, de carácter local, de especial relevancia para los intereses de los vecinos y en ningún caso pueden venir referidos a la Hacienda Local”. En el caso de Aragón, su Estatuto de Autonomía reconoce competencia exclusiva de la Comunidad Autónoma en materia de consultas populares, comprendiendo el régimen jurídico, modalidades, procedimiento y convocatoria, por la Comunidad o por las Entidades Locales, de “encuestas, audiencias públicas, foros de participación y cualquier otro instrumento de consulta popular” con excepción de la figura del referéndum y de la autorización especial en dicho supuesto.

El sistema de concesión de obra pública elegido por el Gobierno de Aragón para poner en marcha el Plan de Saneamiento y Depuración se engloba dentro de la estrategia del Partenariado Público-Privado (PPP). Una estrategia que está cada vez más presente en los proyectos financiados por el Banco Mundial y por las agencias de cooperación internacional. Los PPP hacen referencia a acuerdos entre el sector público y privado para coordinar esfuerzos y movilizar recursos en determinados sectores de intervención de la administración pública. El concepto de partenariado liga lo público con lo privado en una relación en la que se asume que ambas partes siguen objetivos y resultados comunes. En la práctica, se trata de un modelo de privatización sumamente eficaz en el que la clave del negocio no se centra tanto en la mayoría accionarial de las empresas mixtas que promueve (51% o más de las acciones en manos públicas) sino en el control de la información y de la gestión de la empresa, ocultándose en muchos casos que, en la aventura de los PPP, los riesgos no siempre están compartidos al mismo nivel por las partes. En este sentido, al socio que se le adjudica el 100% del contrato, generalmente bajo el argumento de la complejidad tecnológica (*el know-how o savoir faire*), rentabiliza con ganancias sustanciales su contribución a través del “mercado de inputs secundarios”, es decir el privado pasa a decidir en materia de compras, contrata y subcontrata haciendo desaparecer por 40 o 50 años los concursos públicos, que se adjudican de forma directa a las empresas filiales del gran operador adjudicatario de la concesión.

Este tipo de PPP, que se ha expandido en épocas de bonanza en muchos puntos del planeta, adolece de cierta inestabilidad en momentos de crisis ya que cuando la crisis afecta a las empresas lo primero que acostumbran a hacer es recortar gastos en las partidas relacionadas con las inversiones para el mantenimiento del servicio. Generalmente estos procesos de privatización de la gestión son utilizados por los ayuntamientos para aliviar su maltrecha situación financiera adjudicando a un agente privado el contrato de concesión del ciclo urbano del agua a cambio de una cantidad de dinero (canon concesional). Como resultado del proceso se generan una serie de riesgos: incrementos en la tarifa y cortes de suministro. En este sentido, y como se abordará en otros apartados, si consideremos el agua como un derecho humano no se debería impedir su acceso a aquellas personas que demuestren no tener capacidad económica evitando por tantos estos “desahucios hídricos”.

Desde hace años AEOPAS (Asociación Española de Operadores Públicos de Abastecimiento y Saneamiento) viene advirtiendo de las características del modelo de gestión privada⁸² en los servicios de agua y saneamiento:

- Los grandes lobbies del agua se reparten el mercado acudiendo a concursos para gestionar los servicios de abastecimiento y saneamiento.
- Acceden a gestionar mediante la entrega de cánones concesionales a ayuntamientos, que después revierten en la factura al ciudadano sin transparencia.
- Contratan las asistencias técnicas con sus propias empresas filiales, dejando fuera a empresarios locales.
- Nula rendición de cuentas, participación ciudadana y por tanto oscurantismo en la gestión.

⁸² MORELL, J. (2011) “Gestión sostenible del agua”. Badajoz. En línea: <http://www.aeopas.org/index.php/comunicacion/documentos>

- Las pequeñas empresas privadas del sector no tienen cabida en este modelo, se quedan fuera.
- Deficiencias en al prestación del servicio en cuanto no revisan las condiciones contractuales.
- Escasa inversión en proyectos de educación ambiental, campañas de sensibilización sobre el buen uso del agua.
- Se aprovechan de marcos institucionales débiles.

Como solución dicha Asociación aboga por la gestión pública y la mejora de la misma a través de lo que Fraguas (2013) define como una *“nueva cultura de la regulación pública”* que no implica que toda la gestión la acometan empresas públicas, sino que se definan y verifiquen claras reglas del juego en las concesiones en gestión. Para ello se debería impulsar una normativa específica de abastecimiento y saneamiento en la que quedara explícitamente excluido procesos privatizadores de infraestructuras de abastecimiento de agua y saneamiento. De esta forma, también se incluiría el cumplimiento del principio de recuperación de costes recogido en la DMA entendido como la obligación de trasladar al usuario todos los costes, pero sólo los costes de agua o saneamiento.

Abogar por una gestión pública implica poder contar con mecanismos participativos, rendir cuentas, reinvertir beneficios, transferir conocimientos, someterse a la legislación vigente en materia de contratos para los concursos públicos, así como avanzar en dar un paso más hacia la mejora de los entes gestores en lo que a calidad del servicio público se refiere, esto es mayor eficiencia, transparencia y preservación del recurso del agua (y su ciclo integral) alejándolo de los intereses comerciales así como avanzar hacia una homogenización de los servicios prestados a la ciudadanía.

3.2.3.3. La defensa de la Autonomía Municipal

Para alcanzar los objetivos propuestos en el apartado anterior se hace necesario recurrir a una defensa de la autonomía municipal. Una defensa que debe partir en primera instancia de los propios gobiernos locales que lejos de delegar su competencia (como ha sido el caso del Plan de Saneamiento y Depuración) o ejercerla transfiriéndosela a un tercero (a través de concesiones en los servicios de abastecimiento de agua y saneamiento), sea la propia entidad local la que de forma independiente o mancomunada lleve a cabo la prestación de dicho servicio de forma directa responsabilizándose de su gestión. Sobre todo en aquellos servicios públicos que supongan la gestión de los recursos comunes, en este caso el agua y su ciclo integral.

El gobierno local cuenta con la capacidad de decisión política en aquellos intereses particulares y en cuantos asuntos le atañen hasta el punto que *“el legislador puede disminuir o acrecentar las competencias hoy existentes, pero no eliminarlas por completo y, lo que es más, el debilitamiento de su contenido, sólo podrá hacerse con razón suficiente y nunca en daño del principio de autonomía que es uno de los principios estructurales básicos de nuestra Constitución⁸³”*. En otras palabras, la autonomía reconocida impide cualquier subordinación o jerarquización a otras administraciones territoriales. Desde esa perspectiva cualquier intento por llevar a cabo

⁸³ STS, de 28 de julio de 1981.

el desarrollo de sus competencias propias (en este caso la depuración de aguas residuales) cuenta con la garantía constitucional y dentro de un marco jurídico más amplio con el amparo de la Carta Europea de Autonomía Local⁸⁴ que establece que los entes locales se configuran sobre un triple pilar:

- Condición básica y necesaria en todo régimen democrático.
- Administración más próxima al ciudadano, y más eficaz, que debe dotarse con la capacidad de gestionar y ordenar, es decir, regular, una parte importante de los asuntos públicos.
- Y cauce de participación directa e inmediata de los ciudadanos en la vida pública.

Así mismo y respecto a posibles planificaciones se recoge en su artículo 4 que: *“Las entidades locales deben ser consultadas, en la medida de lo posible, a su debido tiempo y de forma apropiada, a lo largo de los procesos de planificación y decisión para todas las cuestiones que les afecten directamente”*.

Hay que tener presente que la vida local, como evidencia la larga historia de sus municipios, constituye un ejemplo inagotable de cómo las comunidades vecinales han construido por la vía de los hechos su autonomía y sus competencias, posteriormente consagradas por el legislador, y han sido el ejemplo claro de la materialización del principio de subsidiariedad, llamado a jugar un papel trascendente en la dinámica de las administraciones públicas.

En la actualidad el proyecto de Ley de racionalización y sostenibilidad de la Administración Local⁸⁵ prevé en ciertos casos la traslación de la prestación de los servicios mínimos obligatorios a las Diputaciones Provinciales que asumirán la titularidad de la competencia correspondiente (artículo 26 y varias disposiciones concordantes del anteproyecto), lo que supone un desapoderamiento *ex lege* de las competencias municipales en favor de la Provincia y de la reducción del ámbito de las llamadas “competencias propias” del municipio. Tal reducción ha sido cuestionada por la mayor parte de las Comunidades Autónomas, por considerar que con ella se vulnera la garantía institucional de la autonomía local consagrada en los artículos 137 y 140 de la Constitución.

En este sentido el proyecto de Ley plantea una valoración mercantilizada del concepto “servicio público” atendiendo a la fijación por medio de Real Decreto de un “coste estándar” de los servicios públicos prestados por los Ayuntamientos, con la siguiente finalidad:

- Si el coste del servicio prestado por el Ayuntamiento es superior al coste estándar, y se trata de una competencia impropia, se debe suprimir el servicio.
- Si el coste es superior y es una competencia mínima, las Diputaciones asumirán los servicios de los municipios de menos de 20.000 habitantes.

⁸⁴ La Carta Europea de Autonomía Local de 2 de abril de 1985, emanada del Consejo de Europa, fue aprobada en Estrasburgo el 15 de octubre de 1985, ratificada por las Cortes Españolas el 20 de febrero de 1988 y publicada en el BOE num. 47 de 24 de febrero de 1989, entrando en vigor el 1 de marzo de 1989.

⁸⁵ Puede consultarse en: http://www.congreso.es/public_oficiales/L10/CONG/BOCG/A/BOCG-10-A-58-1.PDF

En el Dictamen que emitió el Consejo de Estado a propósito del anteproyecto de Ley⁸⁶ y refiriéndose a las Diputaciones Provinciales señaló que: *“Ello implica, entre otras cosas, que no quepa exigir a estas entidades responsabilidad política en caso de que la gestión desarrollada no se adecue a las disposiciones aplicables o, simplemente, no se considere adecuada por los ciudadanos”*.

A la vista de este nuevo escenario planteado y si se trata de llevar a cabo una defensa de la autonomía local se debería realizar un esfuerzo por mantener las competencias municipales como forma de responsabilidad en la prestación de los servicios públicos, de control sobre los mismos y de mantenimiento de la territorialidad en su gestión. Ello bien podría significar respetar en este caso el ejercicio de la competencia plena de depuración de aguas residuales o bien abordar una colaboración entre administraciones superiores y ayuntamientos con el fin de auxiliar a los entes locales en la implementación de dicho servicio público.

3.2.3.4. *Hacia una remunicipalización del servicio público de saneamiento y depuración*

En ocasiones la pérdida de control del servicio público (generalmente de abastecimiento de agua) a través de la privatización del mismo ha demostrado que no siempre lo privado es mejor. En los últimos años ha habido una clara tendencia a la remunicipalización en el sector del agua. Es decir una transferencia de los servicios del agua desde compañías privadas a autoridades municipales, demostrando que el sector público puede superar al sector privado. En una reciente publicación, Pigeon (2013) aborda varios ejemplos de remunicipalización –Paris, Dar es Salaam, Buenos Aires, Hamilton y un conjunto de municipalidades malasias-. Las razones que han llevado a recobrar los servicios públicos derivan de los fracasos de la privatización. Aunque algunos sectores siguen apoyando la intervención del sector privado en el agua (entre ellos el Banco Mundial y muchas agencias de Naciones Unidas), no es sorprendente que, al mismo tiempo, continúe la resistencia a estas tendencias comercializadoras generando fuertes movimientos de protesta y graves conflictos que en algunas ocasiones y como señala Arrojo (2009) *“el éxito de estas luchas no sólo ha bloqueado el proceso de privatización en países como Bolivia (Cochabamba, el Alto), Argentina, Uruguay o Indonesia, entre otros, sino que está abriendo la perspectiva de nuevos modelos de gestión pública participativa bajo control social. Nuevos enfoques que se confrontan tanto a los modelos de gestión pública tradicionales, a menudo ineficientes e incluso corruptos, como a la modernidad privatizadora de corte neoliberal”*.

La experiencia de la remunicipalización no es del todo novedosa, hay que recordar que la mayoría de los servicios contemporáneos del agua comenzaron como empresas privadas, pero a medida que la ineficiencia de los proveedores se hacía más patente y en tanto que las empresas negaron el servicio a los más pobres (contribuyendo a elevar los riesgos de enfermedades), los gobiernos locales empezaron a municipalizar dichos servicios por primera vez. Si en aquella época el debate se centraba en las implicaciones que ello tenía sobre la salud pública en primera instancia, en la actualidad en el debate subyacen cuestiones de creciente desigualdad y reparto de la riqueza.

⁸⁶ Dictamen num. 567/2013 de 26 de junio del Consejo de Estado. Anteproyecto de Ley de racionalización y sostenibilidad de la Administración Local.

Del estudio de los casos se extraen una serie de conclusiones agrupadas en lecciones positivas y lecciones críticas:

- Lecciones positivas:
 - La remunicipalización funciona, es decir, se puede transferir de lo privado a lo público con escasa interrupción del servicio y con resultados mucho más positivos a través de servicios más equitativos, más transparentes, y más eficientes y sobre todo, con mayor sostenibilidad a largo plazo. Financieramente se han producido ahorros significativos (aproximadamente 35 de millones de euros en el primer año en París, lo que condujo a una reducción del 8% en las tarifas de agua) lográndose mejoras en la eficiencia mediante una buena gestión pública que promovió la reinversión en el desarrollo de infraestructuras a más largo plazo involucrando a los empleados de las empresas públicas en la planificación y operación de los servicios de agua.
 - La remunicipalización como una oportunidad de repensar “lo público”, afirmando que no existe un modelo sobre cómo hacerlo sino que más bien debe partir de los grupos locales que se movilicen y aboguen por el cambio.
 - La remunicipalización es la peor enemiga en sí misma. Es el fracaso de la privatización del agua lo que impulsa la tendencia de remunicipalización. En el caso de París, no fue precisamente un fracaso en sí, sino la percepción de que las dos compañías de aguas más grandes e influyentes –Veolia y Suez- estaban obteniendo beneficios que podían haberse quedado en manos públicas. Es decir, se estaba tratando al ciudadano como consumidor y al agua como mercancía y de esa forma las compañías antepusieron los beneficios a corto plazo a la sostenibilidad a largo plazo.
- Lecciones críticas:
 - No es fácil revertir la privatización. Existen una serie de dificultades técnicas y políticas asociadas a la remunicipalización: la pérdida de memoria institucional, sistemas de comunicación y contabilidad que no engranan con los sistemas del sector público, herencias negativas recibidas de la compañía saliente,... sin olvidar que la movilización política para dar inicio a este proceso ya es en sí difícil. Además, en algunos casos, los donantes internacionales han intentado socavar los esfuerzos de remunicipalización al dificultar sobremanera la transición a los servicios públicos (como los intentos del Banco Mundial de bloquear la remunicipalización en Dar es Salaam).
 - No hay garantías de un “*etos* público” en el sentido de que todavía subyace una lógica neoliberal de la “nueva administración pública” que opera bajo los principios del sector privado. En el caso de Dar es Salaam, los nuevos administradores públicos de DAWASCO⁸⁷ (el operador público) utilizaban un lenguaje y unas políticas muy parecidas a los de la compañía privada que sustituyeron, cosa que llevaría a otro debate más

⁸⁷ DAWASCO: Dar es Salaam Water and Sewerage Corporation (Corporación de Agua y Alcantarillado de Dar es Salaam).

amplio sobre la necesidad de un replanteamiento más profundo del significado de “lo público”.

En todo caso, pese a las dificultades que puede conllevar la senda de la remunicipalización, sí que es cierto que se demuestra claramente el potencial que la iniciativa posee para reclamar agua pública y rehacer el sector público e incluso abrir la puerta a otros sectores (como la sanidad, la energía, la gestión de residuos...). Cada situación ofrece sus desafíos y será necesario abordar de forma distinta cada caso. Lo cierto es que casos como París, con un contrato de concesión de 25 años firmado por el entonces alcalde Jacques Chirac con las filiales Veolia y Suez para administrar los servicios de abastecimiento de agua y de facturación de París, se consiguió revertir a favor de la municipalidad no sin antes haberse producido situaciones de aumento de la tarifa del agua en un 265% entre 1985 y 2009 (sólo para el agua potable con actualizaciones automáticas de las tarifas cada tres meses).

En ese contexto la ciudad comenzó a perder el control sobre los conocimientos técnicos del sistema y se volvieron totalmente dependientes de las empresas privadas para obtener información sobre el estado de la red.

Situación similar se está dando en el caso de la Estaciones Depuradoras actualmente en servicio y en manos de una empresa concesionaria: hay una pérdida del control sobre los conocimientos técnicos, la gestión queda en manos de terceros y por lo tanto alejada de las administraciones públicas y como resultado de todo ello el canon de saneamiento va aumentando progresivamente.

3.2.4. Replicabilidad-transferibilidad de los proyectos

Con el fin de facilitar la promoción y transferencia de los resultados de este proyecto es importante hacer un esfuerzo de difusión. Para divulgar la técnica puede informar en los medios de comunicación, realizar actividades de sensibilización dirigidas a la población, organizar cursos y congresos sobre sistemas alternativos de depuración, como son los sistemas ecológicos. Se puede realizar una página web con información relativa a los proyectos que se lleven a cabo, así como bibliografía sobre el tema.

Algunas de las iniciativas que pueden llevarse a cabo para sensibilizar a la población local son: instalar paneles informativos sobre el funcionamiento del sistema de depuración, repartir folletos explicativos, organizar jornadas dirigidas a fomentar la implantación de estos sistemas en pequeños núcleos de población. Así mismo, la propia construcción de prototipos piloto ayuda a sensibilizar a la población local.

Es un sistema de depuración aplicable a pequeñas comunidades. Las depuradoras basadas en sistemas ecológicos, que se vayan construyendo en la zona pirenaica, puede ser perfectamente replicable a otros núcleos de población, dado su bajo coste, su simple funcionamiento, la relativa facilidad de aprender y aplicar su técnica por personal no cualificado, y su sencillez de instalación y eficacia en la depuración de aguas residuales.

3.2.5. Retos ambientales para mejorar la depuración en el pirineo

La depuración de aguas residuales se presenta como un reto en la zona pirenaica. Deben revisarse las depuradoras actualmente existentes y estudiar si están funcionando correctamente y cumplen los parámetros marcados por la ley, así como ver si es preciso reconvertirlas o combinarlas con algún sistema ecológico de depuración.

En el caso del pirineo Aragonés faltan por construir muchas depuradoras, especialmente en los pequeños núcleos de población, para los cuales los sistemas de depuración ecológicos se presentan como una alternativa adecuada.

Deben orientarse esfuerzos en determinar la viabilidad de la implementación de estos sistemas en climas templados y fríos. Deberían realizarse proyectos piloto de sistemas con helófitas en diferentes zonas geográficas, para averiguar los rendimientos de acuerdo a las condiciones ambientales y en las diferentes épocas del año.

Es necesario abordar objetivos como la investigación, sensibilización, e información de la población sobre la importancia de integrar el ciclo del agua en sus vidas. Se debe evitar verter sustancias químicas fuertes al agua, puesto que influye en el diseño de las depuradoras. Puede ser conveniente ubicar un decantador inicial que amortigüe los productos químicos fuertes que pudieran dañar a los sistemas ecológicos de depuración.

El tratamiento de la biomasa generada en los fitosistemas es controvertido. Algunos autores plantean la retirada periódica de biomasa como un requerimiento necesario para optimizar la eficiencia de remoción de contaminantes de las aguas residuales, pero esto puede convertirse en una limitación para el proceso si no se cosecha adecuadamente. Es necesario hacer estudios adicionales para comprender mejor el efecto de las cosechas en la sucesión y desarrollo de los humedales con helófitas, conocer los óptimos de cosecha, especialmente para maximizar la asimilación de nutrientes.

Se debe potenciar la reutilización de aguas depuradas para contribuir el Buen Estado Ecológico de las masas de agua.

3.2.6. Riesgos y retos respecto al objetivo de conseguir el Buen Estado Ecológico de los ríos

La legislación que afecta a la calidad de las aguas y, especialmente la relacionada con los vertidos, es compleja y está compartida por el derecho europeo, español, autonómico y municipal (Fernández González, 2005).

Uno de los principales objetivos del tratamiento de las aguas residuales es evitar el deterioro de la calidad ambiental del medio receptor para alcanzar el buen estado ecológico de las masas de agua, según dicta la Directiva 2000/60/CE (Ortega de Miguel, y otros, 2010). En este mismo sentido, la Directiva sobre tratamiento de las aguas residuales urbanas, establece diferentes niveles de tratamiento y calidad del efluente final de las EDAR, en función de las características del medio receptor. Esta Directiva define tres categorías de zonas de vertido con diferentes exigencias de tratamiento:

sensibles, normales y menos sensibles (Ortega de Miguel, y otros, 2010). La Directiva sobre tratamiento de las aguas residuales, exige un nivel de tratamiento adecuado en poblaciones menores de 2.000 h-e, aunque no define unos límites específicos para los efluentes generados. En el pirineo aragonés, la única zona declarada como sensible es el embalse de Barasoa o Joaquín Costa en la comarca de la Ribagorza. El resto de lugares se categorizan como zonas normales, donde se exige un nivel de tratamiento adecuado en las poblaciones de menos de 2.000 h-e o secundario en las de entre 2.000-10.000 h-e. Actualmente en el Pirineo Aragonés, las normativas y planes autonómicos encaminados a cumplir las Directivas europeas y conseguir para 2015 el buen estado de las masas de agua, como son el PED, el Plan Pirineos, la RPASD, está lejos de cumplir sus expectativas y los proyectos de depuración inicialmente planteados en el pirineo han pasado de unos 297 a posiblemente 29 en caso de que se lleve a cabo el nuevo Plan B de depuración. Son las pequeñas aglomeraciones, de hasta 2.000 h-e, las que presentan mayores carencias en lo que al tratamiento de sus aguas residuales se refiere. Por lo tanto queda mucho camino por recorrer para lograr en el Pirineo Aragonés, en el año 2015, el objetivo de alcanzar el buen estado de las masas de agua.

Con el fin de conocer la calidad de los efluentes depurados y por lo tanto poder controlar que se cumplan los valores de los parámetros que establece la legislación, de tal forma que se trabaje por conseguir el buen estado ecológico de las masas de agua, es imprescindible analizar el agua residual a la entrada y la calidad del vertido a la salida. La normativa española indica que existe flexibilidad en los valores que pueden adoptar los distintos parámetros del efluente depurado, existiendo dos baremos de depuración: por valores totales y por porcentaje de depuración. Los análisis de las aguas depuradas deben realizarse correctamente, y conocer lo que el reglamento dictamina al respecto. Habitualmente el organismo de la administración encargado de regular que se cumplan las condiciones de los vertidos es la Confederación Hidrográfica del Ebro (CHE), autoridad que inspecciona el cumplimiento de los criterios marcados en las depuradoras.

El encargado de fijar la calidad requerida del efluente depurado es el Organismo de Cuenca. En este sentido, puede ser necesario revisar la legislación en lo relativo a los parámetros a analizar para estudiar el grado de depuración de las aguas, incluyendo parámetros como los niveles de nutrientes, especialmente nitrógeno y fósforo, y estableciendo los valores estandarizados que éstos deben cumplir en el efluente depurado.

Una medida importante para contribuir al objetivo de conseguir el Buen Estado Ecológico de los ríos es potenciar la reutilización de las aguas depuradas. En este sentido, el Real Decreto 1620/2007, normativa que regula la reutilización de las aguas depuradas, supone una mejora de calidad en el vertido y sobre el medio receptor, y posibilita el incremento de los recursos hídricos en zonas de escasez. El agua depurada que vaya a reutilizarse deberá cumplir las exigencias de calidad marcadas en este RD.

3.2.7. Retos y valores sociales en juego

3.2.7.1. *El buen estado ecosistémico: políticas territoriales integradas y valor ético en la gestión del agua*

Para evidenciar el papel crucial que desempeña el buen estado de los ecosistemas fluviales en la protección de la biodiversidad es importante reseñar los beneficios y servicios ecosistémicos que ofrecen a la sociedad especialmente la vinculación entre los valores ambientales y las políticas territoriales desarrolladas en las zonas vinculadas a espacios naturales.

Para ello el programa internacional “Evaluación de los Ecosistemas del Milenio⁸⁸” a través de una ecoauditoría sobre el estado de conservación de los ecosistemas y la biodiversidad del planeta ha permitido evaluar las implicaciones que la destrucción de los mismos tienen sobre el bienestar de la población afirmando que los servicios generados condicionan nuestro desarrollo no solo económico sino también social, cultural y político.

En España la Evaluación se puso en marcha en abril del 2009, promovida por la Fundación Biodiversidad, y en marzo del 2011 se presentó una síntesis de los resultados⁸⁹ y de los estrechos vínculos existentes entre 22 servicios de 14 tipos operativos de ecosistemas y su relación con el bienestar de la población española.

Las cuatro comarcas aragonesas situadas Pirineo Central albergan un conjunto de ecosistemas que proporcionan servicios de abastecimiento (alimentación, agua dulce, energía renovable, acervo genético...), regulación (climática, hídrica, calidad del aire, control de la erosión...) y culturales (actividades recreativas, disfrute estético, identidad cultural, conocimiento ecológico local...). En los últimos años y según recoge la Evaluación de los Ecosistemas de España (EME) de los 21 servicios analizados (según tabla adjunta⁹⁰), 14 de ellos (66,7%) se están degradando o se están utilizando de manera insostenible. Los más afectados son los servicios de regulación y los culturales relacionados con el saber popular, el conocimiento ecológico local y la identidad cultural.

⁸⁸ Programa Internacional Evaluación de los Ecosistemas del Milenio (MA) (www.maweb.org) promovido por una Alianza de Agencias de Naciones Unidas, Convenios Internacionales y ONG, fue lanzado en el año 2001 por el entonces Secretario General Kofi Annan con la finalidad de crear una línea de información científica interdisciplinaria sobre las relaciones entre ecosistemas, biodiversidad y bienestar humano.

⁸⁹ Una información más detallada puede encontrarse en la web del Proyecto: www.ecomilenio.es

⁹⁰ Extraída del artículo “Ecosistemas río y riberas: conocer más para gestionar mejor”. M^a Luisa Suárez y M^a Rosario Vidal-Abarca en Revista AMBIENTA num. 98. Marzo 2012. Ministerio de Medio Ambiente, Medio Rural y Marino.

Tabla 46. Evaluación de la importancia relativa y tendencia de los 22 servicios suministrados por los ecosistemas ríos y riberas españoles. Fuente: Fundación Biodiversidad, (2011).

Tabla 1. Evaluación de la importancia relativa y tendencia de los 22 servicios suministrados por los ecosistemas ríos y riberas españoles

Tipo de servicio	Servicio		Ríos y riberas
ABASTECIMIENTO	Alimentación	Tradicional: pesca	↘
		Tecnificada: acuicultura	↘
	Agua dulce		↘
	Materiales origen biótico	Madera/leña	↑
	Materiales origen geótico	Sol, grava/arena, agua mineral	↓
	Energía renovable	Energía hidráulica	↔
	Acervo genético		↘
	Medicinas naturales		↓
REGULACIÓN	Regulación climática		↘
	Calidad del aire		↘
	Regulación hídrica		↘
	Control de la erosión		↘
	Fertilidad del suelo		↘
	Perturbaciones naturales		↘
	Control biológico		↘
CULTURALES	Conocimiento científico		↑
	Actividades recreativas		↑
	Disfrute estético		↑
	Disfrute espiritual y religioso		↗
	Conocimiento ecológico local		↘
	Identidad cultural		↓
	Educación ambiental		↑

Importancia del servicio: Bajo Medio-bajo Medio-alto Alto
 Tendencia del servicio: ↑ Mejora ↗ Tendencia a mejorar ↔ Tendencia mixta ↘ Tendencia a empeorar ↓ Empeora

Cabe señalar dentro de los servicios de abastecimiento, el referido al agua dulce (como principal servicio de abastecimiento que proporcionan los ríos). En este sentido es importante reseñar la relación existente entre los caudales disponibles y las políticas territoriales referidas a espacios naturales, población, cabaña ganadera, pastos y crecimiento de masas forestales. El investigador Francesc Gallart (2001) ha estudiado la problemática de los recursos hídricos ante los cambios de la cubierta vegetal en las cabeceras de los ríos y afirma que *“está científicamente demostrado desde hace más de veinte años que los cambios de cubierta vegetal en una cuenca modifican el balance de agua y las relaciones precipitación-escorrentía, a causa de un mayor consumo de agua por parte de la vegetación forestal.* En la zona pirenaica, como en tantas otras cabeceras de las cuencas hidrográficas españolas, se ha producido en las últimas décadas un aumento de la cubierta forestal como consecuencia del abandono rural y de las políticas ambientales llevadas a cabo.

Un vistazo a fotografías históricas, anteriores a los años 50, de los valles que conforman las cuatro comarcas pirenaicas y su comparación con las actuales muestran el notable incremento de la masa forestal. Un paseo por buena parte de las laderas del entorno prepirenaico, hoy boscosas, muestra, bajo el arbolado, los muros de piedra seca

construidos y mantenidos durante generaciones para el aprovechamiento agroganadero de tal superficie.

Este notable incremento de bosque y matorral es debido a diversas circunstancias que se superponen unas a otras. Chaubelier (1990) expone la notable extensión de terreno repoblado, esencialmente con coníferas, en los términos municipales de las cuatro comarcas⁹¹. Buena parte de dicha repoblación siguió los dictados de la planificación hidrológica de los años 60 y 70: aguas arriba de los grandes embalses construidos o proyectados se repobló masivamente para evitar la colmatación temprana de los vasos a inundar.

Por otra parte el declive demográfico derivó en un menor uso de la producción forestal y en el abandono de buena parte de la cabaña ganadera, lo que, a su vez, produjo una menor presión de los herbívoros sobre los pastos y prados históricos.

La unión de estos factores (repoblación forestal con coníferas, regresión demográfica y falta de carga ganadera) hace que el matorral bajo y el bosque ocupen extensas superficies que históricamente servían de alimento para el ganado.

Desde el Instituto Pirenaico de Ecología (CSIC) se han venido realizando estudios sobre la utilización ganadera de los pastos supraforestales y sobre la elevada complejidad del componente vegetal de dichos pastos, resultado de la acción histórica del ganado, apuntando cómo la propia biodiversidad de las zonas pirenaicas está originada por la acción del pastoralismo ancestral. Los estudios realizados analizan la interrelación de la ganadería y la conservación del paisaje en el área pirenaica desde mediados del siglo pasado⁹². Sus conclusiones van en la dirección de la revitalización del sector para el mantenimiento de los ecosistemas y en la importancia de la gestión conjunta prepirineo-pirineo.

Todo ello nos lleva a corroborar que la pérdida de caudales (y por tanto el aumento de la vulnerabilidad del ecosistema fluvial frente a la contaminación producida por aguas residuales) es fruto del aumento de las masas forestales y la evapotranspiración⁹³ producida a lo largo de las últimas décadas en las cabeceras de los ríos pirenaicos, donde, por otro lado, se generan la mayor parte de los caudales.

Gallart (2001) alerta sobre la evolución futura de los recursos hídricos de la cuenca del Ebro abordándolo no sólo desde la clave de los regadíos sino desde el consumo natural condicionado por la evolución y la gestión de las áreas de cabecera. En ese sentido, una gestión sostenible de los recursos hidrológicos requerirá de una gestión integrada de los usos del suelo en las áreas de cabecera y de las actividades productivas tradicionales (agroganadería, gestión forestal, silvicultura...) que promuevan no sólo

⁹¹ Fiscal, en la parte media del valle del río Ara, es el que, en relación a su término municipal, mayor superficie repoblada posee de la provincia, más del 60%. Para buena parte de los municipios del prepirineo es mayor al 30%.

⁹² Un resumen, aunque limitado a una zona de la alta Jacetania extensible al resto del área, se encuentra en MONSERRAT, P. Y VILLAR, L. (2007) "Ecología y gestión pastoral el Pirineo. Una perspectiva de medio siglo". Revista Pirineos, num. 162. Instituto Pirenaico de Ecología (CSIC). Jaca.

⁹³ La evapotranspiración se define como la suma de la evaporación y de la transpiración en áreas cubiertas de vegetación. Cabe diferenciar la evapotranspiración potencial de la real según las condiciones hidrológicas del lugar, esto es, la potencial se refiere a aquella que se produciría si existiera un desarrollo vegetativo óptimo y una coincidencia entre la humedad del suelo y su capacidad de campo, mientras que la real representa aquello que vuelve a la atmósfera en las condiciones reales del área estudiada

minimizar la vulnerabilidad del ecosistema fluvial sino una visión más diversificada y sostenible del desarrollo territorial a promover.

Para ello la evaluación de esos posibles beneficios y de los valores ambientales se debe reconocer de manera suficiente ofreciendo apoyo para su conservación y desarrollo de forma sostenible, especialmente a la población local, que en última instancia son los que interaccionan con el territorio para procurar el fomento de buenos usos. En definitiva, como señala Arrojo (2010) *“reforzar la identidad y la autoestima de esas comunidades y por otro lado fomentar el aprecio de esos territorios, de sus gentes y de los frutos de su trabajo en el conjunto de la sociedad, mayoritariamente de carácter urbano”*.

De lo hasta aquí analizado cabe deducir que en lo que a la gestión de las políticas del agua se refiere nos encontramos con una vieja forma de abordarlas (más autoritaria, más segmentada y menos participativa) y unos nuevos enfoques que poco a poco van emergiendo (más participativos, más integradores, más aperturistas y en definitiva más eficaces). Así, las grandes obras hidráulicas presentes en política hidráulica de la mayor parte del siglo XX basadas en estrategias “de oferta” se han ido cuestionando a lo largo de los años, en unos casos por los enormes requerimientos financieros y sus dilatados períodos de amortización, y en otros, fruto de la insostenibilidad que, grandes planes como el Plan Hidrológico Nacional, dejaron entre ver.

Lo cierto es que la nueva política hídrica debe provenir de un nuevo modelo territorial que sea eficaz en la gestión de los recursos naturales y que debe estar íntimamente ligado a la necesaria cooperación y coordinación entre administraciones, a la integración de los diferentes niveles de decisión (local, regional, nacional) y la necesaria imbricación de la protección y la gestión sostenible del agua.

Una protección necesaria en un contexto de claras tendencias mercantilizadas de los derechos básicos (como el agua y el saneamiento) y que ha generado movimientos sociales en contra de la privatización y en pro del derecho humano al agua potable. Ejemplos como la “Guerra del Agua” en Cochabamba (Perú) en abril del 2000, cuando la ciudad tomó la calle para expulsar a una corporación transnacional que había recibido del gobierno boliviano la concesión no sólo de los servicios de agua y saneamiento urbanos, sino de todas las fuentes de agua de la región; o más recientemente la “Gran Marcha Nacional por el Derecho al Agua en Perú” denunciando la pérdida de soberanía de los campesinos sobre sus tierras y aguas debido a que el 85% del territorio está concesionado a las mineras y en especial al futuro proyecto CONGA (que implicaría la destrucción de lagunas y serios impactos en acuíferos y en la calidad de las aguas), constituyen ejemplos vivos de resistencia y lucha por el derecho al agua.

Partiendo de la base de que la gestión del agua desborda la simplicidad de la lógica de mercado y exige criterios de gestión específicos y adecuados en las diversas categorías de uso y sus respectivas prioridades y acorde con lo recogido en la Declaración Europea por una nueva Cultura del Agua, es fundamental en palabras de Arrojo (2008) *“distinguir las diversas categorías de valor y de derecho que se relacionan con ellas, en orden a establecer prioridades y criterios de gestión adecuados”*.

- a) *El “agua-vida”, en funciones de supervivencia, tanto de los seres humanos como de los demás seres vivos en la naturaleza, debe ser reconocida y priorizada de forma que se garantice la sostenibilidad de los ecosistemas y el acceso de todos a cuotas básicas de aguas de calidad como derecho humano.*
- b) *El “agua-ciudadanía”, en actividades de interés general, funciones de salud y cohesión social (como los servicios urbanos de agua y saneamiento), debe situarse en un segundo nivel de prioridad, en conexión con los derechos de ciudadanía y con el interés general de la sociedad.*
- c) *El “agua-crecimiento”, en funciones económicas, ligadas a actividades productivas, debe reconocerse en un tercer nivel de prioridad, en conexión con el derecho individual de cada cual a mejorar su nivel de vida. Ésta es, de hecho, la función en la que se usa la mayor parte del agua extraída de ríos y acuíferos, siendo clave en la generación de los problemas más relevantes de escasez y contaminación en el mundo.*
- d) *El “agua-delito”: cada vez son más los usos productivos del agua sobre bases ilegítimas, cuando no ilegales (vertidos contaminantes, extracciones abusivas...). Tales usos deben ser evitados y perseguidos mediante la aplicación rigurosa de la ley.*

Ello nos conduciría a abordar el concepto de la gestión del ciclo integral del agua de manera que su regulación garantizara de forma equitativa el disfrute del agua desde sus cuatro categorías. Para ello deben aplicarse procesos que no se asocien a un elevado, injusto e inexplicable incremento de los precios (causantes en última instancia de privaciones para la población) sino a una provisión, real y efectiva de los servicios públicos de abastecimiento y saneamiento de agua.

Cambiar la concepción que hasta ahora se ha tenido de la gestión del ciclo integral del agua debiera ser una obligación ética ya que el acceso al agua y a los servicios básicos de saneamiento es un derecho esencial para la dignidad de millones de personas. Para ello será necesario abordar la gobernabilidad del agua desde una perspectiva transversal y complementaria al resto de políticas públicas y con todas las administraciones competentes. Será necesaria la búsqueda de consensos entre todos los agentes implicados potenciando una participación pública que vaya más allá de la mera representación de intereses y que enlace con un concepto más real y más renovado de ciudadanía (la nueva “democracia del agua”) alejada de los mercados del agua que se han ido instaurando aceleradamente en nuestro país y más vinculada a los principios de justicia, ética y distribución equitativa.

4. **CONCLUSIONES**

Días antes del cierre de este trabajo se celebró la Asamblea de Adelpa. En ella se dieron cita casi un centenar de alcaldes del Pirineo. Seis votos en contra y una abstención no fueron suficientes para aprobar la propuesta de elevar la Queja a Europa, uno de los puntos más debatidos de la reunión. Días antes el Gobierno de Aragón había alcanzando un pre-acuerdo con la Asociación que pasaba por rebajar los importes del canon de saneamiento y no aplicar así la última modificación (que preveía cobrar el 100% a todos los ayuntamientos a partir del 1 de enero de 2014). Esta situación abre un nuevo escenario: frente a la posición de poder que muestra el Gobierno de Aragón y la posible incapacidad de respuesta de los ayuntamientos, se hace necesario organizarse a través de un frente municipal con un claro plan de acción y una estrategia jurídica articulada en torno a la Queja Europea. A su vez, la posibilidad de alcanzar un acuerdo social y político en torno al nuevo modelo de gestión pública cuyos criterios se recogen en los apartados anteriores y que pasa por una participación proactiva de los agentes implicados en los servicios de agua y saneamiento.

A lo largo del trabajo se ha evidenciado que el Plan de Saneamiento de Aragón, debido a la inexistencia de un análisis prospectivo (y sólo fundamentado en un desarrollo rural y urbanístico expansivo, irreal y propio de la situación previa a la crisis mundial de 2007), se ha colapsado económica y financieramente: el incorrecto dimensionamiento del mismo (depuradoras generalmente más grandes de lo necesario, y más depuradoras de las necesarias), el sistema de colaboración público-privado escogido para llevarlo a cabo y el modelo financiero elegido con un elevado apalancamiento, han sido las claves más importantes de ese colapso.

En estos momentos son los aragoneses, a través del canon de saneamiento, los que soportan en última instancia el sobre coste que ha supuesto la mala planificación del saneamiento en Aragón. De igual forma, muchos son los Ayuntamientos que se encuentran en una situación financiera comprometida siendo necesario frenar esta tendencia de sobredimensionamiento para corregir situaciones que en muchos casos pueden resultar irreversibles.

En los casos analizados, y de acuerdo con las últimas investigaciones científicas, queda patente la ventaja en costes que supone implantar una tecnología adecuada, ecológica, en vez de una tecnología convencional dentro de la escala poblacional planteada, es decir pequeñas aglomeraciones urbanas. La herramienta que la propia Directiva Marco del Agua nos propone –el análisis coste-eficacia- puede resultar útil y efectiva a la hora de tomar decisiones y de considerar las tecnologías no convencionales (ecológicas) como posibles alternativas a implementar en el Pirineo.

Si bien es cierto que no existe una única solución tecnológica que se presente como válida para aplicar a la variedad de poblaciones del Pirineo, es imprescindible elegir la tecnología adecuada al contexto de cada población siendo importante tanto en la zona de estudio como en Aragón en general, considerar las posibles alternativas a los sistemas convencionales hasta día de hoy imperantes en el territorio aragonés. Concretamente la construcción de sistemas de depuración basados en sistemas ecológicos para la depuración de aguas residuales en pequeñas poblaciones se muestran como una opción eficaz económica, social y ambientalmente, puesto que integran el

ciclo del agua sobre todo en el medio local y son replicables a la diversidad de poblaciones pirenaicas.

La mayoría de estos sistemas basados en plantas helófitas han demostrado ser altamente eficientes en la remoción de los constituyentes de las aguas residuales. Son sistemas que se adaptan bien a las fluctuaciones de caudal y carga (rasgo característico de las áreas rurales) siendo fácilmente integrables en el territorio: la extensión que ocupan puede compensarse con la minimización de consumo energético externo, no necesitan de una retirada frecuente de lodos, su mantenimiento es sencillo, y no cuentan con exceso de averías. Además las áreas donde se implantan pueden convertirse en espacios que combinen: la integración paisajística, la potenciación de la biodiversidad, la producción de biomasa vegetal para diferentes aplicaciones y la producción de agua depurada para reutilización (en especial para los usos menos exigentes como el riego de frutales, restauración ambiental, etc.). Para ello es preciso conocer el funcionamiento de los sistemas de fitodepuración y las especies a emplear para conseguir una buena adaptación a los climas fríos propios de la zona pirenaica a través de la puesta en marcha de proyectos piloto que permitan con mediciones periódicas la efectividad del sistema.

Un buen diagnóstico de la zona, una valoración coste-eficacia de las alternativas y una toma de decisiones a través de un debate público participado pueden ser tres buenas herramientas con las que empezar a rediseñar el Plan de Saneamiento de Aragón. Todo ello para conseguir unos sistemas de depuración adaptados a las necesidades de cada población, eficientes en su gestión y sostenibles económica y medioambientalmente.

5. BIBLIOGRAFÍA

AECA. <http://www.contabilidad.tk/>. [En línea] [Citado el: 12 de Noviembre de 2013.] <http://www.contabilidad.tk/inmovilizado-material-i-24.htm>.

Alianza por el Agua. 2008. *Manual de depuración de aguas residuales urbanas*. s.l. : Secretariado Alianza por el Agua / Ecología y Desarrollo. CENTA, 2008.

Arrojo, P. 2008. “*Tipología y raíces de los conflictos por el agua en el mundo*” en *El Agua, derecho humano y raíz de conflictos*. Fundación Seminario de Investigación para la paz. Zaragoza, 2008.

—. **2009.** *Agua, ríos y pueblos*. Fundación Nueva Cultura del Agua, Diputación Provincial de Málaga, Centro de Ediciones de la Diputación Provincial de Málaga, 2009.

Ayuntamiento de Fabara. *Planta depuradora biológica de aguas residuales*.

Beltrán, F. 2004. *Pirineo Aragonés, la magia del agua*. Zaragoza, 2004.

Benito López, B. 2006. *La colaboración público-privada en la provisión de infraestructuras públicas*, ponencia presentada al II Congreso Nacional de Auditoría en el Sector Público. Sevilla, 2006.

Brugué, Q, Gomà, R Y Subirats, J. 2005. *Gobernar ciudades y territorios en la sociedad de las redes*. Revista CLAD Reforma y Democracia Núm. 32. Caracas, 2005.

Brugué, Q Y Pares, M. 2012. *Entre la deliberación y la negociación: el caso de la Mesa de la Montaña en Aragón*. Revista de Estudios Políticos Núm. 158, octubre-diciembre 2012. Pp. 75-101, 2012.

CENTA; Instituto Tecnológico de Canarias. 2006. *Guía sobre tratamientos de aguas residuales urbanas para pequeños núcleos de población*. Gran Canaria : Instituto Tecnológico de Canarias. Gobierno de Canarias, 2006. 84-689-7604-0.

Centro de las Nuevas Tecnologías del Agua (CENTA). 2006. *Manual de Tecnologías no convencionales para la depuración de aguas residuales*. s.l. : Agencia Andaluza del Agua, Consejería de Medio Ambiente. Junta de Andalucía, 2006. 978-84-611-6882-8.

Chauvelier, F. 1990. *La repoblación forestal en la provincia de Huesca y sus impactos geográficos*. Instituto de Estudios Altoaragoneses. Diputación Provincial de Huesca, 1990.

Comisión Europea. 2006. *Análisis coste-eficacia*. 2006.

CC.OO. 2008b. *Depuradoras. Plan de depuración de la Zona Pirenaica.* Zaragoza : s.n., 2008b.

CC.OO. 2008c. *Viabilidad de flacción.* Zaragoza : s.n., 2008c.

Departamento de Agua, Instituto Tecnológico de Canarias. 2010. *Sistemas de Depuración Natural (SDN) de aguas residuales en Canarias.* s.l. : Instituto Tecnológico de Canarias. Gobierno de Canarias, 2010.

Department of Natural Resources. Georgia Environmental Protection Division. 2002. *Guidelines for constructed wetlands for municipal wastewater facilities.* Georgia : State of Georgia, 2002.

Dirección General del Medio ambiente de la Comisión Europea. 2001. *Guía sobre Procesos extensivos de depuración de las aguas residuales adaptada a las pequeñas y medianas colectividades.* Luxemburgo : Oficina Internacional del Agua, 2001. 92-894-1690-4.

EPA. 2004. *Constructed Treatment Wetlands.* s.l. : Office of water, United States Environmental Protection Agency (EPA), 2004. 843-F-03-013.

—. **2000.** *Constructed Wetlands Treatment of Municipal Wastewaters.* Cincinnati (Ohio) : Office of Research and Development, United States Environmental Protection Agency (EPA), 2000. 625/R-99/010.

—. **2000.** *Guiding Principles for constructed treatment wetlands: Providing for water quality and wildlife habitat.* Washington, DC : Office of Wetlands, Oceans and Watersheds, United States Environmental Protection Agency (EPA), 2000. 843-B-00-003.

Esteban Utrillas, V.; CCOO. 2008a. *Alegaciones al estudio de viabilidad de las estaciones depuradoras de aguas residuales de los núcleos de población incluidos en la Zona Pirineos P1, P2, P3, P4.* Zaragoza : s.n., 2008a.

Estrada Gallego, Islena Yineth. 2010. *Monografía sobre humedales artificiales de flujo subsuperficial (HAFSS) para remoción de metales pesados en aguas residuales.* Pereira (Colombia) : Universidad Tecnológica de Pereira, 2010.

Fernández González, Jesús. 2005. *Manual de Fitodepuración, Filtros de Macrófitas en flotación. Proyecto Life.* Madrid : Fundación Global Nature. Universidad Politécnica de Madrid, 2005.

Foro de Debate: “La Depuración Del Agua En Aragón”. **Varios autores.** Aínsa, 27 de octubre de **2012.**

Fraguas, A. 2013. *Políticas hídricas y regulación del derecho humano al agua: gestión pública y gestión privada.* En Revista EcoSostenible Núm. 22, 2013.

Funcas. 2013. *Ipc septiembre 2013 – previsiones hasta diciembre 2014* . 2013.

Fundamentos estructurales de un filtro de macrófitas en flotación (FMF): Un nuevo ecosistema que nos ayuda a regenerar aguas contaminadas. **Rey y Quintana, Diego Simón. 2011.** 105, Madrid : Revista Montes, 2011.

Gallart, F. 2001. “La estimación del los recursos hídricos en el Plan Hidrológico Nacional: insuficiencias del método empleado ante los cambios de uso y cubierta del suelo en las cabeceras de las cuencas” en El Plan Hidrológico Nacional a debate. Bakeaz. Fundación Nueva Cultura del Agua, 2001.

García Calvo, Eloy. 2010. *Oferta Tecnológica desarrollada durante la ejecución del programa consolider-tragua.* s.l. : Consolider Tragua, 2010. 978-84-695-2172-4.

Gobierno de Aragón. 2009. *Decreto 107/2009, de 9 de junio, del Gobierno de Aragón, por el que se aprueba la revisión del Plan Aragonés de Saneamiento y Depuración.* Zaragoza : s.n., 2009.

Grupo de Análisis Económico del Agua; MMA. 2009. *Análisis coste-eficacia para la consecución de objetivos ambientales en masas de agua.* 2009.

Huertas, Rosa, y otros. 2013. *Guía práctica para la depuración de aguas residuales en pequeñas poblaciones.* s.l. : Confederación Hidrográfica del Duero (CHD), 2013.

IAA. 2008. *Pliego de cláusulas administrativas particulares del contrato de concesión de obra pública para la redacción de proyectos, construcción y explotación de las infraestructuras necesarias para la depuración de aguas residuales en el pirineo Zona PI.* 2008.

INE. 2013. Instituto Nacional de Estadística. [En línea] 2013. [Citado el: 23 de 10 de 2013.] <http://www.ine.es>.

Jornada Sobre Depuración En Pequeñas Poblaciones: “Sistemas de depuración en pequeñas poblaciones”. **Enrique Ortega. 2013.** Huesca, 21 de noviembre de 2013.

La Calle Marcos, Abel. 2013. *Dictamen jurídico relativo a la Revisión del Plan Aragonés de Saneamiento y Depuración aprobada por el Gobierno de Aragón a través del Decreto 107/2009, de 9 de junio y su compatibilidad con el Derecho de la Unión Europea.* s.l. : La Calle Asociados CB, 2013.

Lasanta, T. y Vicente-Serrano, S.M. 2007. *Cambios en la cubierta vegetal en el Pirineo aragonés en los últimos 50 años.* Revista Pirineos. Núm. 162. Instituto Pirenaico de Ecología (CSIC). Jaca, 2007.

Macrófitas flotantes en el tratamiento de aguas residuales: una revisión del estado del arte. **Martelo, Jorge y Lara Borrero, Jaime A. 2012.** 15, Bogotá (Colombia) : Ingeniería y ciencia, 2012, Vol. 8. 1794-9165.

Melo Quintana, Germán. 2013. *Evaluación fitodepurante de un sistema biológico artificial en aguas de riego como alternativa para la sostenibilidad del recurso hídrico.* Chía (Colombia) : Universidad de la Sabana, 2013.

Morales-Arce Macías, R.; UNED. 2006. *Finanzas para universitarios.* s.l. : UNED, 2006.

2005. *Nuevos filtros verdes con macrófitas en flotación. Informe Layman. Proyecto Life.* s.l. : Fundación Global Nature. Universidad Politécnica de Madrid, 2005.

Onaindia, M., y otros. 2010. *Servicios ambientales en Reservas de la Biosfera Españolas.* Organismo Autónomo de Parques Nacionales- Red Española de Reservas de Biosfera. Madrid. Capítulo 1 “Los servicios de los ecosistemas en la Reserva de la Biosfera de Ordesa-Viñamala (Aragón) desde la perspectiva de su ampliación”. Pedro Arrojo y Epifanio Miguélez. Dpto. de análisis económico. Universidad de Zaragoza, 2010.

Ortega de Miguel, Enrique, y otros. 2010. *Manual para la implantación de sistemas de depuración en pequeñas poblaciones.* Madrid : CEDEX y Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, 2010. 978-84-491-1071-9.

Pigeon, M., y otros. 2013. *Remunicipalización: el retorno del agua a manos públicas*”. Publicado por Transnacional Institute, Ámsterdam, 2013.

Plan General Contable. <http://www.plangeneralcontable.com/>. [En línea] [Citado el: 12 de Noviembre de 2013.] <http://www.plangeneralcontable.com/?tit=valor-actual-neto-van-formulario-economico-financiero&name=Manuales&fid=ee0bcd5b>.

RAPA. 2013a. *Análisis de los datos facilitados por el iaa referentes a costes e ingresos de canon de saneamiento.* 2013a.

RAPA. 2013b. *Memorandum presentado por la RAPA ante el BEI sobre el PASD.* 2013b.

Segura, Julio. 1996. *Análisis microeconómico.* s.l. : AUT, 1996.

Sim, C.H. 2003. *The use of constructed wetlands for wastewater treatment.* Selangor (Malaysia) : Wetlands International - Malaysia Office, 2003. 983-40960-2-x.

Sodemasa, Gobierno de Aragón. *Agua para vivir. Plan Especial de Depuración de aguas residuales de Aragón.* Zaragoza : s.n.

—. **2008.** *Estudio de viabilidad. Estaciones depuradoras de aguas residuales de los núcleos de población incluidos en la zona pirineos "P1, P2, P3, P4". Plan de Depuración Integral del Pirineo Aragonés. Comunidad Autónoma de Aragón.* Zaragoza : s.n., 2008.

Subirats, J. 2010. *Si la respuesta es la gobernanza, ¿Cuál es la pregunta?. Factores de cambio en la política y en las políticas.* Economías. 74, 2º cuatrimestre. Pp. 16-35, 2010.

Torres Junco, V. *Filtro de macrófitas en flotación para la depuración de las aguas residuales y la regeneración de ríos y lagos.* Madrid : Macrofitas S.L.

ANEXOS

ÍNDICE GENERAL

1. ANEXO I. LISTADO DE ACTUACIONES EN EL PIRINEO CONTENIDAS EN EL CONVENIO DE COLABORACIÓN ENTRE EL MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE MEDIO RURAL Y MARINO Y LA COMUNIDAD AUTÓNOMA DE ARAGÓN. 2008.....	162
2. ANEXO II. PROYECCIONES ECONÓMICAS DEL ESTUDIO DE VIABILIDAD DE LA DEPURACIÓN EN LA ZONA P1 DEL PIRINEO.....	167
3. ANEXO III. REVISIÓN DE LAS PROYECCIONES DEL ANEXO II.....	171
4. ANEXO IV. REVISIÓN DE LOS RATIOS EN LA ZONA P1.....	172
5. ANEXO V. DATOS DE LAS DEPURADORAS EN FUNCIONAMIENTO DE ARAGÓN EN 2012.....	173
6. ANEXO VI. TÉCNICAS DE DEPURACIÓN DISPONIBLES.....	176
7. ANEXO VII. ESPECIES VEGETALES UTILIZADAS EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.....	196
8. ANEXO VIII. RECOMENDACIONES PARA DISEÑAR Y MANTENER UN HUMEDAL ARTIFICIAL.....	199
9. ANEXO IX. COMPARATIVA DE MÉTODOS DE SANEAMIENTO.....	201

ÍNDICE FIGURAS

Figura 1. Rejas de desbaste, EDAR de las Tablas (Cádiz). Fuente: CENTA; Instituto Tecnológico de Canarias, (2006).	176
Figura 2. Pretratamiento con elementos de limpieza manual. Fuente: (Huertas, y otros, 2013).	176
Figura 3. Pretratamiento con elementos de limpieza automática-manual. Fuente: Huertas, y otros, (2013).	177
Figura 4. Esquema de una fosa séptica. Fuente: Huertas, y otros, (2013).	178

Figura 5. Esquema de un tanque Imhoff. Fuente: Huertas, y otros, (2013).	178
Figura 6. Esquema de un decantador circular. Fuente: Huertas, y otros, (2013).	179
Figura 7. Esquema de lechos bacterianos. Fuente: Huertas, y otros, (2013)	180
Figura 8. Esquema de contactor biológico rotativo. Fuente: Huertas, y otros, (2013).	181
Figura 9. Esquema de un lodo activado. Fuente: Dirección General del Medio ambiente de la Comisión Europea, (2001).	182
Figura 10. Esquema de reactores secuenciales. Fuente: Huertas, y otros, (2013).	183
Figura 11. Esquema de filtro intermitente de arena. Fuente: Huertas, y otros, (2013).	184
Figura 12. Sistema de infiltración- percolación del tipo zanjas filtrantes. Fuente: CENTA; Instituto Tecnológico de Canarias, (2006).	185
Figura 13. Sistema de infiltración- percolación del tipo filtro verde. Fuente: CENTA; Instituto Tecnológico de Canarias, (2006).	185
Figura 14. Sistema de infiltración- percolación. Fuente: Huertas, y otros, (2013).	186
Figura 15. Esquema de un tratamiento de lagunaje. Fuente: Huertas, y otros, (2013).	188
Figura 16. Niveles de tratamiento según el tipo de sistema de depuración empleado. Fuente: Huertas, y otros, (2013).	189
Figura 17. Sistemas de depuración con humedales artificiales. Fuente: Jesús Fernández, Foro de Debate: “La depuración del agua en Aragón”, Aínsa (2012).	190
Figura 18. Humedal artificial de flujo superficial. Fuente: Estrada Gallego, (2010).	191
Figura 19. Humedal artificial de flujo subsuperficial horizontal. Fuente: Estrada Gallego, (2010).	192
Figura 20. Humedal artificial de flujo subsuperficial vertical. Fuente: Estrada Gallego, (2010)..	192
Figura 21. Izquierda: Filtro de macrófitas semisumergido (FHS).Derecha: FHF en el municipio de Fabara. Fuente: Jesús Fernández, Foro de Debate: “La depuración del agua en Aragón”, Aínsa (2012).	194
Figura 22. Esquema general del funcionamiento del sistema de flujo en canales. Fuente: Jesús Fernández, Foro de Debate: “La depuración del agua en Aragón”, Aínsa (2012).	199

ÍNDICE TABLAS

Tabla 1. Comparativa entre el sistema de depuración de tipo humedal artificial de flujo superficial y de flujo subsuperficial. Fuente: elaboración propia con datos de Estrada Gallego, (2010).	201
---	-----

1. ANEXO I. LISTADO DE ACTUACIONES EN EL PIRINEO CONTENIDAS EN EL CONVENIO DE COLABORACIÓN ENTRE EL MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE MEDIO RURAL Y MARINO Y LA COMUNIDAD AUTÓNOMA DE ARAGÓN. 2008

BOE núm. 260

Martes 28 octubre 2008

42737

ANEXO I

Entidad	Municipio	Comarca	Habitantes de derecho	Habitantes equivalentes de diseño	Costes construcción
MORILLO DE SAMPIETRO	BOLTAÑA	SOBRARBE	1	4	6.000,00
SANTA JUSTA	PUÉRTOLAS	SOBRARBE	1	4	6.000,00
FONTANAL	LABUERDA	SOBRARBE	1	4	6.000,00
ESPOLLA	BONANSA	LA RIBAGORZA	1	4	6.000,00
SESO	AINSA-SOBRARBE	SOBRARBE	3	5	6.000,00
FRAGINAL	JACA	JACETANIA	4	5	6.000,00
ESCO	SIGÜES	JACETANIA	4	5	6.000,00
TORRE DE BUIRA	BONANSA	RIBAGORZA	3	5	6.000,00
BACAMORTA	FORADADA DEL TOSCAR	RIBAGORZA	3	5	6.000,00
VINAL	MONTANUY	RIBAGORZA	4	5	6.000,00
LACORT	FISCAL	SOBRARBE	1	5	6.000,00
SAN MARTIN DE SOLANA	FISCAL	SOBRARBE	4	5	6.000,00
BIES	PUÉRTOLAS	SOBRARBE	1	5	6.000,00
MUERA (LA)	PUEYO DE ARAGUÁS (EL)	SOBRARBE	3	5	6.000,00
PARDINA (LA)	PUEYO DE ARAGUÁS (EL)	SOBRARBE	5	5	6.000,00
SAN VICTORIAN	PUEYO DE ARAGUÁS (EL)	SOBRARBE	2	6	6.000,00
TIERMAS	SIGÜES	JACETANIA	1	7	6.000,00
MURO DE BELLOS	PUÉRTOLAS	SOBRARBE	4	7	6.000,00
LASTIESAS BAJAS	JACA	JACETANIA	8	8	6.000,00
RIBERA	MONTANUY	RIBAGORZA	2	8	6.000,00
SANTA OLARIA DE ARA	FISCAL	SOBRARBE	3	11	50.000,00
LASTIESAS ALTAS	JACA	JACETANIA	6	12	50.000,00
GRANTE	JACA	JACETANIA	7	12	50.000,00
LASCORZ	FORADADA DEL TOSCAR	RIBAGORZA	6	12	50.000,00
LACORT	FORADADA DEL TOSCAR	RIBAGORZA	9	12	50.000,00
ARDANUE	LASPAULES	RIBAGORZA	6	12	50.000,00
VILLAPLANA	LASPAULES	RIBAGORZA	8	12	50.000,00
ARDANUY	MONTANUY	RIBAGORZA	6	12	50.000,00
PADARNIÚ	VALLE DE LIERP	RIBAGORZA	8	12	50.000,00
POCINO (EL)	FUEVA (LA)	SOBRARBE	8	12	50.000,00
SAN LORIEN	PUEYO DE ARAGUÁS (EL)	SOBRARBE	8	12	50.000,00
SOTO (EL)	PUEYO DE ARAGUÁS (EL)	SOBRARBE	8	12	50.000,00
SILVES	BOLTAÑA	SOBRARBE	8	12	50.000,00
BONO	MONTANUY	RIBAGORZA	3	13	50.000,00
MOLINOS (LOS)	AREN	RIBAGORZA	4	14	50.000,00
PUEYO	VALLE DE LIERP	RIBAGORZA	4	15	50.000,00
ORUS	YEBRA DE BASA	ALTO GALLEGO	5	16	50.000,00
ESCUIAIN	PUÉRTOLAS	SOBRARBE	5	16	50.000,00
NAVASILLA	JACA	JACETANIA	9	17	50.000,00
BELEDER	CAMPO	RIBAGORZA	14	17	50.000,00
ESTET	MONTANUY	RIBAGORZA	8	17	50.000,00
HERRERIAS (LAS)	VERACRUZ	RIBAGORZA	13	17	50.000,00
BUSAN	FANLO	SOBRARBE	14	17	50.000,00
LARDIES	FISCAL	SOBRARBE	9	17	50.000,00
SAN JUAN	FUEVA (LA)	SOBRARBE	9	17	50.000,00
SANTA MARIA	PUÉRTOLAS	SOBRARBE	10	17	50.000,00
PLANO (EL)	PUEYO DE ARAGUÁS (EL)	SOBRARBE	15	17	50.000,00
CIRES	BONANSA	RIBAGORZA	3	18	50.000,00
ASCASO	BOLTAÑA	SOBRARBE	7	18	50.000,00
MORENS	VERACRUZ	RIBAGORZA	5	19	50.000,00
GRIEBAL	AINSA-SOBRARBE	SOBRARBE	4	19	50.000,00
AGUILAR	BOLTAÑA	SOBRARBE	5	19	50.000,00
BESCOS DE GARCIPOLLERA	JACA	JACETANIA	4	20	50.000,00
BIBILES	BONANSA	RIBAGORZA	2	20	50.000,00
LLAGUNAS	LASPAULES	RIBAGORZA	3	21	50.000,00
ESPLUGA	FORADADA DEL TOSCAR	RIBAGORZA	23	23	50.000,00
ERVERA	MONTANUY	RIBAGORZA	10	23	50.000,00
LLERT	VALLE DE BARDAJÍ	RIBAGORZA	7	23	50.000,00
SANTA MAURA	VALLE DE BARDAJÍ	RIBAGORZA	17	23	50.000,00
REVILLA	TELLA-SIN	SOBRARBE	6	23	50.000,00
BADAIN	TELLA-SIN	SOBRARBE	9	23	50.000,00
SALA	VALLE DE LIERP	RIBAGORZA	6	24	50.000,00

ANEXO I: LISTADO DE ACTUACIONES EN EL PIRINEO CONTENIDAS EN EL CONVENIO DE COLABORACIÓN ENTRE EL MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE MEDIO RURAL Y MARINO Y LA COMUNIDAD AUTÓNOMA DE ARAGÓN. 2008

42738

Martes 28 octubre 2008

BOE núm. 260

Entidad	Municipio	Comarca	Habitantes de derecho	Habitantes equivalentes de diseño	Costes construcción
CAMPODARBE	BOLTAÑA	SOBRARBE	8	24	50 000,00
HOSPITAL	TELLA-SIN	SOBRARBE	8	24	50 000,00
LERES	JACA	JACETANIA	11	25	50 000,00
ESCANÉ	MONTANUY	RIBAGORZA	9	25	50 000,00
AGUASCALDAS	VALLE DE BARDAJÍ	RIBAGORZA	15	25	50 000,00
SATUE	SABINÁNIGO	ALTO GÁLLEGO	6	26	50 000,00
ALLUE	SABINÁNIGO	ALTO GÁLLEGO	10	26	50 000,00
SAN ROMÁN DE BASA	SABINÁNIGO	ALTO GÁLLEGO	10	26	50 000,00
FONCHANINA	MONTANUY	RIBAGORZA	6	26	50 000,00
BINUE	JACA	JACETANIA	7	27	50 000,00
ASIESO	JACA	JACETANIA	22	28	50 000,00
COLLADAS (LAS)	FORADADA DEL TOSCAR	RIBAGORZA	16	28	50 000,00
SENZ	FORADADA DEL TOSCAR	RIBAGORZA	24	28	50 000,00
FORCAT	MONTANUY	RIBAGORZA	9	28	50 000,00
PLANILLO	FISCAL	SOBRARBE	11	30	50 000,00
SAN JULIÁN DE BASA	YEBRA DE BASA	ALTO GÁLLEGO	9	31	50 000,00
ARGUISAL	SABINÁNIGO	ALTO GÁLLEGO	6	34	50 000,00
BALLABRIGA	VERACRUZ	RIBAGORZA	8	34	50 000,00
LATAS	SABINÁNIGO	ALTO GÁLLEGO	11	35	50 000,00
SASAL	SABINÁNIGO	ALTO GÁLLEGO	20	35	50 000,00
ISUN DE BASA	SABINÁNIGO	ALTO GÁLLEGO	21	35	50 000,00
SOBAS	YEBRA DE BASA	ALTO GÁLLEGO	22	35	50 000,00
ALASTUEY	BAILO	JACETANIA	24	35	50 000,00
BUIRA	BONANSA	RIBAGORZA	14	35	50 000,00
BENIFONS	MONTANUY	RIBAGORZA	20	35	50 000,00
BIESCAS	VALLE DE BARDAJÍ	RIBAGORZA	10	35	50 000,00
SERRATE	VALLE DE LIERP	RIBAGORZA	16	35	50 000,00
BIASCAS DE OBARRA	VERACRUZ	RIBAGORZA	14	35	50 000,00
VALLE (LA)	BOLTAÑA	SOBRARBE	15	35	50 000,00
PALLEROL	SOPEIRA	RIBAGORZA	9	36	50 000,00
FANILLO	YEBRA DE BASA	ALTO GÁLLEGO	18	37	50 000,00
GRACIONPEL	JACA	JACETANIA	17	37	50 000,00
SAN MARTÍN DE VERÍ	BISAURRI	RIBAGORZA	13	37	50 000,00
CASAL (EL)	LASPUNA	SOBRARBE	14	37	50 000,00
LORBES	SALVATIERRA DE ESCA	JACETANIA	5	38	50 000,00
IPAS	JACA	JACETANIA	12	40	50 000,00
ALINS	LASPAULES	RIBAGORZA	13	40	50 000,00
JAVIERRE DEL OBISPO	BIESCAS	ALTO GÁLLEGO	7	41	50 000,00
ESPES ALTO	LASPAULES	RIBAGORZA	7	41	50 000,00
ALBELLÀ	FISCAL	SOBRARBE	13	41	50 000,00
BETES DE SOBREMONTÉ	BIESCAS	ALTO GÁLLEGO	18	42	50 000,00
JARLATA	JACA	JACETANIA	12	42	50 000,00
SEÑU	MONTANUY	RIBAGORZA	17	42	50 000,00
PUERTOLAS	PUERTOLAS	SOBRARBE	15	42	50 000,00
LANUZA	SALIENT DE GÁLLEGO	ALTO GÁLLEGO	18	42	50 000,00
SORRIPAS	SABINÁNIGO	ALTO GÁLLEGO	23	43	50 000,00
MARTILLUE	JACA	JACETANIA	10	43	50 000,00
FUENDECAMPO	FUEVA (LA)	SOBRARBE	31	43	50 000,00
SAN FELICES DE ARA	FISCAL	SOBRARBE	12	44	50 000,00
ESPIERRE	BIESCAS	ALTO GÁLLEGO	4	46	50 000,00
SIESTE	BOLTAÑA	SOBRARBE	25	47	50 000,00
SALINAS	TELLA-SIN	SOBRARBE	26	47	50 000,00
ARBUES	BAILO	JACETANIA	15	50	80 000,00
ONCINS	PUEYO DE ARAGUÁS (EL)	SOBRARBE	18	50	80 000,00
JAVIERRE DE ARA	FISCAL	SOBRARBE	12	52	80 000,00
TORRELISA	PUEYO DE ARAGUÁS (EL)	SOBRARBE	17	52	80 000,00
PUEYO DE ARAGUÁS (EL)	PUEYO DE ARAGUÁS (EL)	SOBRARBE	36	52	80 000,00
OROS ALTO	BIESCAS	ALTO GÁLLEGO	19	53	80 000,00
RAMASTUE	CASTEJÓN DE SOS	RIBAGORZA	13	53	80 000,00
YEBÀ	FANLO	SOBRARBE	27	53	80 000,00
SAN VICENTE	LABUERDA	SOBRARBE	16	54	80 000,00
ULLE	JACA	JACETANIA	23	55	80 000,00
BETESA	AREN	RIBAGORZA	9	55	80 000,00

ANEXO I: LISTADO DE ACTUACIONES EN EL PIRINEO CONTENIDAS EN EL CONVENIO DE COLABORACIÓN ENTRE EL MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE MEDIO RURAL Y MARINO Y LA COMUNIDAD AUTÓNOMA DE ARAGÓN. 2008

BOE núm. 260

Martes 28 octubre 2008

42739

Entidad	Municipio	Comarca	Habitantes de derecho	Habitantes equivalentes de diseño	Costes construcción
NAVARRI	FORADADA DEL TOSCAR	RIBAGORZA	22	55	80.000,00
LARREDE	SABINANIGO	ALTO GÁLLEGO	17	58	80.000,00
AURIN	SABINANIGO	ALTO GÁLLEGO	33	58	80.000,00
URMELLA	BISAURRI	RIBAGORZA	16	58	80.000,00
GINASTE	MONTANUY	RIBAGORZA	20	58	80.000,00
CERESA	LASPUÑA	SOBRARBE	40	58	80.000,00
MAJONES	CANAL DE BERDÚN	JACETANIA	10	59	80.000,00
DENUY	LASPAÜLES	RIBAGORZA	16	59	80.000,00
CASTARNE	MONTANUY	RIBAGORZA	19	59	80.000,00
SOMANES	SANTA CILIA	JACETANIA	22	60	80.000,00
VIU	FORADADA DEL TOSCAR	RIBAGORZA	31	60	80.000,00
CABEZONADA (LA)	FUEVA (LA)	SOBRARBE	31	60	80.000,00
ESPUENDOLAS	JACA	JACETANIA	20	61	80.000,00
MOLINOS (LOS)	PUEYO DE ARAGUÁS (EL)	SOBRARBE	20	61	80.000,00
GUASA	JACA	JACETANIA	24	62	80.000,00
ABI	SEIRA	RIBAGORZA	32	62	80.000,00
PARDINELLA	VERACRUZ	RIBAGORZA	21	62	80.000,00
ARRESA	FISCAL	SOBRARBE	11	62	80.000,00
BESTUE	PUÉRTOLAS	SOBRARBE	18	62	80.000,00
VISALBONS	TORRE LA RIBERA	RIBAGORZA	13	63	80.000,00
FOSADO	FUEVA (LA)	SOBRARBE	27	63	80.000,00
ARAGUAS	PUEYO DE ARAGUAS (EL)	SOBRARBE	15	63	80.000,00
NERIL	LASPAÜLES	RIBAGORZA	17	65	80.000,00
BORRASTRE	FISCAL	SOBRARBE	16	65	80.000,00
BORRES	SABINANIGO	ALTO GÁLLEGO	18	66	80.000,00
SAN JUSTE	FISCAL	SOBRARBE	5	66	80.000,00
ASSO-VERAL	SIGÜES	JACETANIA	22	68	80.000,00
ARAGUAS DEL SOLANO	JACA	JACETANIA	20	69	80.000,00
SAMPER	FUEVA (LA)	SOBRARBE	21	69	80.000,00
VILLANOVIYA	JACA	JACETANIA	8	70	80.000,00
ABELLA	LASPAÜLES	RIBAGORZA	27	73	80.000,00
LATORRECILLA	AINSA-SOBRARBE	SOBRARBE	27	73	80.000,00
OROS BAJO	BIESCAS	ALTO GÁLLEGO	16	76	80.000,00
OSAN	SABINANIGO	ALTO GÁLLEGO	24	78	80.000,00
PUEYO DE SABINANIGO (EL)	SABINANIGO	ALTO GÁLLEGO	32	78	80.000,00
ESPES	LASPAÜLES	RIBAGORZA	15	79	80.000,00
ANETO	MONTANUY	RIBAGORZA	29	78	80.000,00
FORADADA DEL TOSCAR	FORADADA DEL TOSCAR	RIBAGORZA	29	80	80.000,00
SUILS	LASPAÜLES	RIBAGORZA	35	80	80.000,00
EGBA	VALLE DE LIERP	RIBAGORZA	17	80	80.000,00
SANTA MARIA DE BUIL	AINSA-SOBRARBE	SOBRARBE	21	81	80.000,00
PARDINILLA	SABINANIGO	ALTO GÁLLEGO	26	82	80.000,00
ABENA	JACA	JACETANIA	23	84	80.000,00
VILLARRUE	LASPAÜLES	RIBAGORZA	28	84	80.000,00
NOALES	MONTANUY	RIBAGORZA	36	85	80.000,00
CASTELLAZO	AINSA-SOBRARBE	SOBRARBE	16	85	80.000,00
LIGÜERRE DE ARA	FISCAL	SOBRARBE	38	85	80.000,00
MEDIANO	FUEVA (LA)	SOBRARBE	31	85	80.000,00
YOSA DE SOBREMONTA	BIESCAS	ALTO GÁLLEGO	25	86	80.000,00
ARASAN	BISAURRI	RIBAGORZA	40	87	80.000,00
SANTORENS	SOPEIRA	RIBAGORZA	23	87	80.000,00
ARRO	AINSA-SOBRARBE	SOBRARBE	29	90	80.000,00
BARAGUAS	JACA	JACETANIA	29	92	80.000,00
BINACUA	SANTA CRUZ DE LA SERÓS	JACETANIA	33	92	80.000,00
GABAS	BISAURRI	RIBAGORZA	31	92	80.000,00
JAVIERRE	BIELSA	SOBRARBE	36	92	80.000,00
OSIA	JACA	JACETANIA	13	93	80.000,00
ACUMUER	SABINANIGO	ALTO GÁLLEGO	8	94	80.000,00
NOVES	JACA	JACETANIA	31	94	80.000,00
BARBARUENS	SEIRA	RIBAGORZA	28	96	80.000,00
VILLACARLI	TORRE LA RIBERA	RIBAGORZA	30	96	80.000,00
NAVASA	JACA	JACETANIA	19	97	80.000,00
CALVERA	VERACRUZ	RIBAGORZA	15	97	80.000,00

ANEXO I: LISTADO DE ACTUACIONES EN EL PIRINEO CONTENIDAS EN EL CONVENIO DE COLABORACIÓN ENTRE EL MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE MEDIO RURAL Y MARINO Y LA COMUNIDAD AUTÓNOMA DE ARAGÓN. 2008

42740

Martes 28 octubre 2008

BOE núm. 260

Entidad	Municipio	Comarca	Habitantes de derecho	Habitantes equivalentes de diseño	Costes construcción
ARRES	BAILO	JACETANIA	26	104	350 000,00
BERANUY	VERACRUZ	RIBAGORZA	35	105	350 000,00
SARDAS	SABINÁNIGO	ALTO GÁLLEGO	48	107	350 000,00
ERESUE	SAHÚN	RIBAGORZA	28	112	350 000,00
MONTANUY	MONTANUY	RIBAGORZA	62	113	350 000,00
LIRI	CASTEJÓN DE SOS	RIBAGORZA	34	116	350 000,00
SOS	SESUE	RIBAGORZA	25	116	350 000,00
BUERBA	FANLO	SOBRARBE	19	119	350 000,00
ASO DE SOBREMONTÉ	BIESCAS	ALTO GÁLLEGO	37	123	350 000,00
BANAGUAS	JACA	JACETANIA	36	126	350 000,00
CANIAS	JACA	JACETANIA	40	127	350 000,00
CASTANESA	MONTANUY	RIBAGORZA	36	128	350 000,00
SAN FELIU DE VERI	BISAURRI	RIBAGORZA	41	131	350 000,00
BAROS	JACA	JACETANIA	44	132	350 000,00
BOTAYA	JACA	JACETANIA	25	137	350 000,00
ASIN DE BROTO	BROTO	SOBRARBE	32	139	350 000,00
BARBENUTA	BIESCAS	ALTO GÁLLEGO	6	146	350 000,00
ABAY	JACA	JACETANIA	45	146	350 000,00
ESPOSA	AISA	JACETANIA	64	147	350 000,00
OLIVAN	BIESCAS	ALTO GÁLLEGO	41	148	350 000,00
ARATORES	CASTIELLO DE JACA	JACETANIA	45	155	350 000,00
ESPIERBA	BIELSA	SOBRARBE	29	155	350 000,00
BERGUA	BROTO	SOBRARBE	40	155	350 000,00
CARTIRANA	SABINÁNIGO	ALTO GÁLLEGO	47	156	350 000,00
GUASILLO	JACA	JACETANIA	70	157	350 000,00
MARTES	CANAL DE BERDÚN	JACETANIA	40	159	350 000,00
BERNUES	JACA	JACETANIA	23	162	350 000,00
BUESA	BROTO	SOBRARBE	38	167	350 000,00
SINUES	AISA	JACETANIA	57	171	350 000,00
SABINÁNIGO ALTO	SABINÁNIGO	ALTO GÁLLEGO	57	175	350 000,00
MIANOS	MIANOS	JACETANIA	47	175	350 000,00
ASCARA	JACA	JACETANIA	45	181	350 000,00
SENEGUE	SABINÁNIGO	ALTO GÁLLEGO	84	183	350 000,00
VILLARREAL DE LA CANAL	CANAL DE BERDÚN	JACETANIA	58	187	350 000,00
SARAVILLO	PLAN	SOBRARBE	77	190	350 000,00
ATARES	JACA	JACETANIA	44	194	350 000,00
BONANSA	BONANSA	RIBAGORZA	61	203	350 000,00
ESCUER	BIESCAS	ALTO GÁLLEGO	43	207	350 000,00
PUENTE LA REINA DE JACA	PUENTE LA REINA DE JACA	JACETANIA	59	211	350 000,00
SOPEIRA	SOPEIRA	RIBAGORZA	73	213	350 000,00
YEBRA DE BASA	YEBRA DE BASA	ALTO GÁLLEGO	107	220	350 000,00
MORILLO DE LIENA	FORADADA DEL TOSCAR	RIBAGORZA	96	223	350 000,00
BINIES	CANAL DE BERDÚN	JACETANIA	61	230	350 000,00
GUASO	AÍNSA-SOBRARBE	SOBRARBE	74	237	350 000,00
URDUES	VALLE DE HECHO	JACETANIA	63	249	350 000,00
BISAURRI	BISAURRI	RIBAGORZA	83	254	350 000,00
BANASTON	AÍNSA-SOBRARBE	SOBRARBE	81	261	350 000,00
FAGO	FAGO	JACETANIA	37	269	350 000,00
SARVISE	BROTO	SOBRARBE	95	283	350 000,00
ARA	JACA	JACETANIA	54	290	350 000,00
SANTA CRUZ DE LA SEROS	SANTA CRUZ DE LA SERÓS	JACETANIA	119	298	350 000,00
HOZ DE JACA	HOZ DE JACA	ALTO GÁLLEGO	77	315	350 000,00
LARUES	BAILO	JACETANIA	90	316	350 000,00
ARTIEDA	ARTIEDA	JACETANIA	103	320	350 000,00
YESERO	YESERO	ALTO GÁLLEGO	81	321	350 000,00
OTO	BROTO	SOBRARBE	97	323	350 000,00
JAVIERREGAY	PUENTE LA REINA DE JACA	JACETANIA	105	332	350 000,00
CHIA	CHIA	RIBAGORZA	111	335	350 000,00
BORAU	BORAU	JACETANIA	74	350	350 000,00
ESCALONA	PUÉRTOLAS	SOBRARBE	105	350	350 000,00
LASPAULES	LASPAULES	RIBAGORZA	102	394	400 000,00
LAFORTUNADA	TELLA-SIN	SOBRARBE	149	407	1 200 000,00
BAILO	BAILO	JACETANIA	160	484	1 200 000,00

ANEXO I: LISTADO DE ACTUACIONES EN EL PIRINEO CONTENIDAS EN EL CONVENIO DE COLABORACIÓN ENTRE EL MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE MEDIO RURAL Y MARINO Y LA COMUNIDAD AUTÓNOMA DE ARAGÓN. 2008

BOE núm. 260

Martes 28 octubre 2008

42741

Entidad	Municipio	Comarca	Habitantes de derecho	Habitantes equivalentes de diseño	Costes construcción
SANTA CILIA DE JACA	SANTA CILIA	JACETANIA	169	512	1.280.000,00
SEIRA	SEIRA	RIBAGORZA	142	512	1.280.000,00
SIGÜES	SIGÜES	JACETANIA	149	514	1.280.000,00
SESUE	SESUE	RIBAGORZA	109	515	1.280.000,00
LABUERDA	LABUERDA	SOBRARBE	157	529	1.280.000,00
AISA	AISA	JACETANIA	179	537	1.280.000,00
SALVATIERRA DE ESCA	SALVATIERRA DE ESCA	JACETANIA	264	581	1.280.000,00
LASPUNA	LASPUNA	SOBRARBE	218	587	1.280.000,00
VILLANOVA	VILLANOVA	RIBAGORZA	132	590	1.280.000,00
EMBUN	VALLE DE HECHO	JACETANIA	146	607	1.280.000,00
ARAGÜES DEL PUERTO	ARAGÜES DEL PUERTO	JACETANIA	148	632	1.280.000,00
JASA	JASA	JACETANIA	120	635	1.280.000,00
BERDUN	CANAL DE BERDUN	JACETANIA	253	873	1.400.000,00
AINSA	AINSA	SOBRARBE	1.295	3.717	2.410.000,00
ANSO	ANSO	JACETANIA	525	1.433	2.190.000,00
BENASQUE	BENASQUE	RIBAGORZA	1.148	4.333	8.760.000,00
ERISTE	SAHUN	RIBAGORZA	126	1.083	
ANCILES	BENASQUE	RIBAGORZA	75	388	
SAHUN	SAHUN	RIBAGORZA	111	1.003	2.520.000,00
BIELSA	BIELSA	SOBRARBE	330	3.317	
BIESCAS	BIESCAS	ALTO GÁLLEGO	1.105	9.000	9.585.000,00
GAVIN	BIESCAS	ALTO GÁLLEGO	78	390	
BOLTANA	BOLTANA	SOBRARBE	790	1.900	2.740.000,00
MARGUDGÜED	BOLTANA	SOBRARBE	58	222	
BROTO	BROTO	SOBRARBE	231	3.017	2.740.000,00
CANDANCHU	AISA	JACETANIA	110	5.400	
ASTUN	JACA	JACETANIA	12	5.833	5.480.000,00
CANFRANC-ESTACIÓN	CANFRANC	JACETANIA	457	5.367	
CANFRANC	CANFRANC	JACETANIA	79	448	5.480.000,00
CASTIELLO DE JACA	CASTIELLO DE JACA	JACETANIA	143	1.967	
	VILLANUA	JACETANIA	435	9.990	
CERLER	BENASQUE	RIBAGORZA	327	2.600	3.390.000,00
ESCARRILLA	SALLENT DE GÁLLEGO	ALTO GÁLLEGO	119	3.600	
PANTICOSA	PANTICOSA	ALTO GÁLLEGO	631	5.817	9.315.000,00
EL PUEYO DE JACA	PANTICOSA	ALTO GÁLLEGO	75	814	
FISCAL	FISCAL	SOBRARBE	139	542	1.640.000,00
FORMIGAL	SALLENT DE GÁLLEGO	ALTO GÁLLEGO	158	5.800	
SALLENT	SALLENT DE GÁLLEGO	ALTO GÁLLEGO	716	5.750	8.220.000,00
HECHO	VALLE DE HECHO	JACETANIA	640	2.117	
SIRESA	VALLE DE HECHO	JACETANIA	135	508	2.410.000,00
TORLA	TORLA	SOBRARBE	218	2.833	
TRAMACASTILLA DE TENA	SALLENT DE GÁLLEGO	ALTO GÁLLEGO	155	2.025	2.740.000,00
SANDINIES	SALLENT DE GÁLLEGO	ALTO GÁLLEGO	51	219	
PIEDRAFITA	BIESCAS	ALTO GÁLLEGO	77	394	900.000,00
Total					128.740.000
Elevación de Aguas del Ebro a Andorra (II Fase)					27.100.000,00
Total					27.100.000,00

2. ANEXO II. PROYECCIONES ECONÓMICAS DEL ESTUDIO DE VIABILIDAD DE LA DEPURACIÓN EN LA ZONA P1 DEL PIRINEO

	ZONA P1
Energía Eléctrica	243.174
Evacuación Residuos	90.721
Reactivos Planta	26.870
Costes Variables	360.765
Personal	374.640
Mantenimiento	184.429
T. Potencia	18.330
Gastos Varios	102.704
Costes Fijos	680.103
Total Costes de Explotación	1.040.867
Caudal diseño licitación	4.175.454
Caudal esperado (Qm)	1.574.951
P.E.M.	
TERRENOS (Expropiaciones)	970.956
CONSTRUCCIONES Edificios	12.775.424
CONSTRUCCIONES Caminos, Servicios y otros	9.783.608
CONSTRUCCIONES Seguridad y Salud	564.831
INST. TÉCNICAS Colectores	0
INST. TÉCNICAS Depuradora	8.820.490
TOTAL EJECUCION MATERIAL	32.915.310

PRESUPUESTO DE OBRA							
VIDA UTIL en años	TERRENOS	CAMINOS	CONSTRUC.	INSTALAC.	MAQUINARIA	INFORMATICA	ELEM.TRANS.
		50	35	20	12	10	15
DISTRIBUCION INVERSION INICIAL							
primer año de	100%	100%	30%	30%	0%	0%	0%
segundo año	0%	0%	70%	70%	100%	100%	100%

ANEXO II: PROYECCIONES ECONÓMICAS DEL ESTUDIO DE VIABILIDAD DE LA DEPURACIÓN EN LA ZONA P1 DEL PIRINEO

	año 0.1	año 0.2	año 1	año 2	año 3	año 4	año 5	año 6	año 7	año 8	año 9	año 10	año 11	año 12	año 13	año 14	año 15	año 16	año 17	año 18	año 19	año 20
CAUDALES																						
Caudal medio anual Qa en m³			841.140	841.140	841.140	841.140	841.140	841.140	841.140	841.140	841.140	841.140	841.140	841.140	841.140	841.140	841.140	841.140	841.140	841.140	841.140	841.140
Caudal medio anual Qa en m/s			733.811	733.811	733.811	733.811	733.811	733.811	733.811	733.811	733.811	733.811	733.811	733.811	733.811	733.811	733.811	733.811	733.811	733.811	733.811	733.811
Crecimiento anual			0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
TARIFAS																						
Ingresos de explotación Tarifa Pa (€/m³)			5,1705	5,6570	5,8253	5,9986	6,1771	6,3608	6,5501	6,7449	6,9456	7,1522	7,3650	7,5841	7,8097	8,0421	8,2813	8,5277	8,7814	9,0426	9,3117	9,5887
Ingresos de explotación Tarifa Pb (€/m³)			0,0688	0,0751	0,0773	0,0788	0,0798	0,0798	0,0798	0,0798	0,0798	0,0798	0,0798	0,0798	0,0798	0,0798	0,0798	0,0798	0,0798	0,0798	0,0798	0,0798
Factor de revisión de precios			0,05																			
IPC anual		3,5%	3,5%	3,5%	3,5%	3,5%	3,5%	3,5%	3,5%	3,5%	3,5%	3,5%	3,5%	3,5%	3,5%	3,5%	3,5%	3,5%	3,5%	3,5%	3,5%	3,5%
IPC anual acumulado	1,0000	1,0350	1,0712	1,1087	1,1475	1,1877	1,2293	1,2723	1,3168	1,3629	1,4106	1,4600	1,5111	1,5640	1,6187	1,6753	1,7340	1,7947	1,8575	1,9225	1,9898	2,0594
Factor de revisión Tarifa Pa	1,0000	1,0000	1,0000	1,0524	1,0598	1,0598	1,0598	1,0598	1,0598	1,0598	1,0598	1,0598	1,0598	1,0598	1,0598	1,0598	1,0598	1,0598	1,0598	1,0598	1,0598	1,0598
Factor de revisión Tarifa Pb	1,0000	1,0000	1,0000	1,0524	1,0598	1,0598	1,0598	1,0598	1,0598	1,0598	1,0598	1,0598	1,0598	1,0598	1,0598	1,0598	1,0598	1,0598	1,0598	1,0598	1,0598	1,0598
CUENTA DE EXPLOTACIÓN																						
Tarifa Tramo A	0	0	4.355.908	4.798.329	4.899.889	5.045.661	5.195.769	5.350.343	5.509.516	5.673.424	5.842.209	6.016.014	6.194.991	6.379.292	6.569.076	6.764.506	6.965.750	7.172.981	7.386.377	7.606.122	7.832.404	8.065.418
Tarifa Tramo B	0	0	50.454	55.116	56.756	58.955	61.655	64.905	68.755	73.155	78.155	83.855	89.355	95.755	102.955	110.955	119.755	129.355	139.855	151.255	163.555	176.855
TOTAL INGRESOS	0	0	4.406.261	4.813.445	4.956.645	5.097.615	5.247.724	5.402.298	5.561.471	5.725.379	5.894.163	6.067.969	6.246.945	6.431.246	6.621.030	6.816.460	7.012.708	7.220.935	7.438.331	7.658.076	7.884.358	8.117.372
COSTES VARIABLES	0	0	-360.765	-373.391	-386.460	-399.986	-413.986	-428.475	-443.472	-458.993	-475.058	-491.685	-508.994	-526.705	-545.140	-564.220	-583.960	-604.407	-625.561	-647.455	-670.116	-693.570
COSTES FIJOS	0	0	-680.102	-703.000	-728.543	-754.042	-780.433	-807.749	-836.020	-865.280	-895.565	-926.910	-959.352	-992.929	-1.027.682	-1.063.691	-1.100.878	-1.139.409	-1.179.288	-1.220.564	-1.263.283	-1.307.498
COSTES FINANCIEROS	0	0	-197.765	-204.667	-211.951	-219.265	-226.940	-234.883	-243.103	-251.612	-260.418	-269.533	-278.967	-288.731	-298.836	-309.295	-320.121	-331.325	-342.921	-354.924	-367.346	-380.203
EDITA	0	0	3.167.629	3.531.461	3.629.791	3.724.322	3.826.365	3.931.192	4.038.676	4.149.493	4.263.121	4.379.841	4.499.732	4.622.881	4.749.372	4.879.294	5.012.737	5.149.795	5.290.561	5.435.134	5.583.613	5.736.101
AMORTIZACIONES	0	0	-1.133.009	-1.133.009	-1.133.009	-1.133.009	-1.133.009	-1.132.769	-1.132.769	-1.132.769	-1.132.769	-1.132.769	-1.132.769	-1.132.769	-1.132.769	-1.132.620	-1.131.974	-1.131.316	-1.130.598	-1.129.782	-1.128.866	-1.127.850
OTACIÓN FONDO REVERSIÓN	0	0	-476.864	-523.116	-538.679	-554.000	-570.313	-587.112	-604.411	-622.224	-640.567	-659.456	-678.907	-698.938	-719.562	-740.880	-762.871	-785.493	-808.784	-832.766	-858.458	-884.851
IGT	0	0	1.555.756	1.875.336	1.958.103	2.037.314	2.123.043	2.211.311	2.301.696	2.394.500	2.489.786	2.587.616	2.688.041	2.781.496	2.882.364	2.985.674	3.092.092	3.199.286	3.311.125	3.425.880	3.543.623	3.664.428
COSTES FINANCIEROS	-743.389	-1.011.565	-1.051.851	-1.055.273	-1.052.467	-1.045.710	-1.037.666	-1.028.282	-1.017.666	-1.005.889	-992.869	-979.642	-966.257	-952.662	-938.916	-925.062	-911.150	-897.230	-883.350	-869.450	-855.550	-841.650
ANTES IMPUESTOS	-743.389	-1.011.565	-1.051.851	-1.055.273	-1.052.467	-1.045.710	-1.037.666	-1.028.282	-1.017.666	-1.005.889	-992.869	-979.642	-966.257	-952.662	-938.916	-925.062	-911.150	-897.230	-883.350	-869.450	-855.550	-841.650
IMPUESTO DE SUCEIONES	-223.017	-303.469	-148.828	-9.381	-27.591	-84.781	-125.413	-188.201	-244.083	-302.224	-363.222	-427.047	-493.729	-561.501	-630.339	-700.010	-769.852	-839.383	-908.685	-977.699	-1.046.389	-1.114.789
RESULTADO LÍQUIDO	-520.373	-708.095	-347.266	-20.956	87.945	197.822	313.964	439.836	569.411	705.188	847.518	996.442	1.149.702	1.310.368	1.479.170	1.656.689	1.843.012	2.037.886	2.244.597	2.479.654	2.749.654	3.064.187
RENTABILIDAD DE LA INVERSIÓN																						
RENTABILIDAD DEL PROYECTO																						
RENTA PROYECTO	-520.373	-708.095	-347.266	-20.956	87.945	197.822	313.964	439.836	569.411	705.188	847.518	996.442	1.149.702	1.310.368	1.479.170	1.656.689	1.843.012	2.037.886	2.244.597	2.479.654	2.749.654	3.064.187
CAPITAL INICIAL (€)	0	0	1.133.009	1.133.009	1.133.009	1.133.009	1.133.009	1.132.769	1.132.769	1.132.769	1.132.769	1.132.769	1.132.769	1.132.769	1.132.769	1.132.620	1.131.974	1.131.316	1.130.598	1.129.782	1.128.866	1.127.850
(COTIZACIÓN FONDO DE REVERSIÓN)	0	0	476.864	523.116	538.679	554.000	570.313	587.112	604.411	622.224	640.567	659.456	678.907	698.938	719.562	740.880	762.871	785.493	808.784	832.766	858.458	884.851
(RESOLDO FISCAL)	520.373	708.095	1.436.266	1.333.691	1.262.727	1.226.297	1.170.166	1.108.082	1.041.777	970.962	895.332	814.889	728.907	636.879	538.485	433.423	321.452	201.454	73.390	852	882	913
CASH FLOW DE EXPLOTACIÓN	0	0	2.700.903	2.968.860	3.042.360	3.113.129	3.189.452	3.267.798	3.349.367	3.431.143	3.516.186	3.603.256	3.694.500	3.789.432	3.894.663	3.993.532	4.095.110	4.199.099	4.297.223	4.407.370	4.520.526	4.636.772
IGT	-17.402.788	-17.794.325	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-93.316	-102.930	-99.963	-103.461	-107.088	-117.844	-114.710	-116.728	-122.380	-127.381	-131.632
MOVIMIENTO DE CIRCULANTE	-223.017	-303.469	-618.363	-39.794	36.291	84.126	134.275	187.409	236.869	286.224	335.222	383.729	431.501	478.639	525.150	571.010	616.230	660.850	704.920	748.490	791.600	833.250
CASH FLOW LIBRE DE EXPLOI.	-17.625.805	-18.097.796	-2.082.539	-2.929.066	-3.078.652	-3.197.254	-3.323.727	-3.455.207	-3.585.235	-3.720.157	-3.859.378	-3.999.898	-4.149.702	-4.300.368	-4.459.170	-4.626.689	-4.793.012	-4.968.886	-5.144.597	-5.330.654	-5.526.954	-5.734.187
CASH FLOW LIBRE DE EXPLOI.	-17.625.805	-18.097.796	-2.082.539	-2.929.066	-3.078.652	-3.197.254	-3.323.727	-3.455.207	-3.585.235	-3.720.157	-3.859.378	-3.999.898	-4.149.702	-4.300.368	-4.459.170	-4.626.689	-4.793.012	-4.968.886	-5.144.597	-5.330.654	-5.526.954	-5.734.187
MOVIMIENTO DE DEUDA LP	11.563.115	18.005.891	-1.002.507	-1.070.677	-1.143.480	-1.221.240	-1.304.285	-1.392.976	-1.487.696	-1.589.862	-1.696.904	-1.812.294	-1.935.530	-2.067.146	-2.207.712	-2.357.836	-2.518.169	-2.689.404	-2.872.284	0	0	0
Bajo FISCAL	-520.373	-708.095	-1.436.266	-1.333.691	-1.262.727	-1.226.297	-1.170.166	-1.108.082	-1.041.777	-970.962	-895.332	-814.889	-728.907	-636.879	-538.485	-433.423	-321.452	-201.454	-73.390	-852	-882	-913
CASH FLOW LIBRE ACCIONISTA	-6.583.062	0	-356.263	-524.698	-652.441	-747.717	-849.278	-954.149	-1.055.761	-1.170.333	-1.292.195	-1.420.342	-1.554.530	-1.694.772	-1.841.110	-1.993.642	-2.153.476	-2.321.804	-2.500.024	-2.688.544	-2.887.964	-3.108.884
TIR DEL PROYECTO			6,78%																			
TIR DEL ACCIONISTA			10,88%																			
VAN de los CFLE			8.119.073																			

VALORACIÓN SOCIO-AMBIENTAL Y ECONÓMICO-FINANCIERA DEL PLAN DE SANEAMIENTO DEL GOBIERNO DE ARAGÓN Y ALTERNATIVAS PARA SU REVISIÓN EN EL ÁREA PIRENAICA

ANEXO II: PROYECCIONES ECONÓMICAS DEL ESTUDIO DE VIABILIDAD DE LA DEPURACIÓN EN LA ZONA P1 DEL PIRINEO

INVERSIÓN EN INMOVILIZADO																										
INMOVILIZADO MAT. v00a 00i																										
TERRENOS	30	970.956	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CANTIDOS	50	9.783.608	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CONSTRUCC.	30	4.032.077	9.330.129	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
INSTALAC.	20	2.646.147	6.174.343	0	0	0	0	0	0	0	0	0	93.316	96.582	99.963	103.461	107.083	110.830	114.710	118.724	122.880	127.181	131.632			
MODERNIZA	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
INSTRUMENTA	10	0	4.500	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6.346	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ELEM TRANS	10	0	40.000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	67.014	0	0	0	0	0	0	0	0
TOTAL		17.402.708	15.557.022	0	0	0	0	0	0	0	0	0	93.316	102.930	99.963	103.461	107.083	117.844	114.710	118.724	122.880	127.181	131.632			
INMOVILIZADO INMAT. v00a 00i																										
CONSERVACIÓN ADMINISTRAT	20	0	2.236.105	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ALIC. INFORMATICAS	5	0	1.200	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TOTAL		0	2.237.305	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TOTAL INVERSIÓN INMOV.		17.402.708	17.794.326	0	0	0	0	0	0	0	0	0	93.316	102.930	99.963	103.461	107.083	117.844	114.710	118.724	122.880	127.181	131.632			

INVERSIÓN EN CIRCUANTE																										
CLIENTES	30			362.158	33.467	11.770	11.587	12.338	12.705	13.083	13.472	13.873	14.285	14.710	15.148	15.599	16.063	16.541	17.033	17.539	18.061	18.599	19.152			
RESERVA MINIMA	10																									
RENTES DE PUESTA EN VALOR		2.784.446	-295.323	-2.489.123	0	0	0	0	0	0	0	0	0	14.931	1.538	-475	560	579	11.322	-10.102	642	665	688	712		
CONTRIBUTOS A LA SEGURIDAD SOCIAL		223.017	303.469	148.838	8.961	-37.691	-94.781	-135.413	-188.501	-237.930	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
DEUDAS A CORTO PLAZO		-2.784.446	295.323	2.489.123	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-14.931	-1.538	475	-560	-579	-11.322	10.102	-642	-665	-688	-712		
RESERVORES	90			-13.343	-13.810	-14.294	-14.794	-15.312	-15.848	-16.402	-16.976	-17.571	-18.186	-18.822	-19.481	-20.163	-20.868	-21.599	-22.355	-23.137	-23.947	-24.785	-25.653			
TOTAL INVERSIÓN CIRC.		223.017	303.469	618.363	39.794	-36.291	-84.126	-134.273	-187.409	-236.869	986	926	862	792	716	636	549	453	355	249	133	13	-117			

AMORTIZACIONES																										
INMOVILIZADO MAT.																										
CANTIDOS	50	0	9.783.608	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Amortización Acumulada				195.672	195.672	195.672	195.672	195.672	195.672	195.672	195.672	195.672	195.672	195.672	195.672	195.672	195.672	195.672	195.672	195.672	195.672	195.672	195.672	195.672	195.672	195.672
Amortización del año				195.672	195.672	195.672	195.672	195.672	195.672	195.672	195.672	195.672	195.672	195.672	195.672	195.672	195.672	195.672	195.672	195.672	195.672	195.672	195.672	195.672	195.672	195.672
CONSTRUCC.	30	0	13.340.255	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Amortización Acumulada				381.150	381.150	381.150	381.150	381.150	381.150	381.150	381.150	381.150	381.150	381.150	381.150	381.150	381.150	381.150	381.150	381.150	381.150	381.150	381.150	381.150	381.150	381.150
Amortización del año				381.150	381.150	381.150	381.150	381.150	381.150	381.150	381.150	381.150	381.150	381.150	381.150	381.150	381.150	381.150	381.150	381.150	381.150	381.150	381.150	381.150	381.150	381.150
INSTALAC.	20	0	8.820.490	0	0	0	0	0	0	0	0	0	93.316	96.582	99.963	103.461	107.083	110.830	114.710	118.724	122.880	127.181	131.632			
Amortización Acumulada				441.024	441.024	441.024	441.024	441.024	441.024	441.024	441.024	441.024	441.024	441.024	445.690	450.519	455.518	460.691	466.045	471.586	477.322	483.258	489.402	495.761		
Amortización del año				441.024	441.024	441.024	441.024	441.024	441.024	441.024	441.024	441.024	441.024	441.024	445.690	450.519	455.518	460.691	466.045	471.586	477.322	483.258	489.402	495.761		
MODERNIZA	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Amortización Acumulada				0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Amortización del año				0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
INSTRUMENTA	10	0	4.500	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Amortización Acumulada				450	450	450	450	450	450	450	450	450	450	450	450	1.085	1.085	1.085	1.085	1.085	1.085	1.085	1.085	1.085	1.085	1.085
Amortización del año				450	450	450	450	450	450	450	450	450	450	450	450	635	635	635	635	635	635	635	635	635	635	635
ELEM TRANS	10	0	40.000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	67.014	0	0	0	0	0	0	0
Amortización Acumulada				2.667	2.667	2.667	2.667	2.667	2.667	2.667	2.667	2.667	2.667	2.667	2.667	2.667	2.667	2.667	2.667	7.134	7.134	7.134	7.134	7.134	7.134	7.134
Amortización del año				2.667	2.667	2.667	2.667	2.667	2.667	2.667	2.667	2.667	2.667	2.667	2.667	2.667	2.667	2.667	2.667	7.134	7.134	7.134	7.134	7.134	7.134	7.134
TOTAL AMORT. INMOV. MATERIAL				0	1.020.963	1.020.963	1.020.963	1.020.963	1.020.963	1.020.963	1.020.963	1.020.963	1.020.963	1.020.963	1.025.179	1.030.643	1.035.641	1.040.814	1.046.169	1.053.511	1.059.246	1.065.181	1.071.327	1.077.686		
INMOVILIZADO INMAT.																										
CONSERVACIÓN ADMINISTRAT	20	0	2.236.105	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Amortización Acumulada				0	111.805	111.805	111.805	111.805	111.805	111.805	111.805	111.805	111.805	111.805	111.805	111.805	111.805	111.805	111.805	111.805	111.805	111.805	111.805	111.805	111.805	111.805
Amortización del año				0	111.805	111.805	111.805	111.805	111.805	111.805	111.805	111.805	111.805	111.805	111.805	111.805	111.805	111.805	111.805	111.805	111.805	111.805	111.805	111.805	111.805	111.805
ALIC. INFORMATICAS	5	0	1.200	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Amortización Acumulada				0	240	240	240	240	240	240	240	240	240	240	240	240	240	240	240	240	240	240	240	240	240	240
Amortización del año				0	240	240	240	240	240	240	240	240	240	240	240	240	240	240	240	240	240	240	240	240	240	240
TOTAL AMORT. INMOV. INMATERIAL				0	112.045	112.045	112.045	112.045	112.045	112.045	112.045	112.045	112.045	112.045	112.045	112.045	112.045	112.045	112.045	112.045	112.045	112.045	112.045	112.045	112.045	112.045
TOTAL AMORTIZACIONES				0	1.133.009	1.133.009	1.133.009	1.133.009	1.133.009	1.133.009	1.133.009	1.133.009	1.133.009	1.133.009	1.133.009	1.133.009	1.133.009	1.133.009	1.133.009	1.133.009	1.133.009	1.133.009	1.133.009	1.133.009	1.133.009	1.133.009

3. ANEXO III. REVISIÓN DE LAS PROYECCIONES DEL ANEXO II

	año 01	año 02	año 1	año 2	año 3	año 4	año 5	año 6	año 7	año 8	año 9	año 10	año 11	año 12	año 13	año 14	año 15	año 16	año 17	año 18	año 19	año 20
CAUDALES																						
Caudal medio anual (Qa en m³)			841.140	841.140	841.140	841.140	841.140	841.140	841.140	841.140	841.140	841.140	841.140	841.140	841.140	841.140	841.140	841.140	841.140	841.140	841.140	841.140
Caudal medio anual (Qb en m³)			733.611	733.611	733.611	733.611	733.611	733.611	733.611	733.611	733.611	733.611	733.611	733.611	733.611	733.611	733.611	733.611	733.611	733.611	733.611	733.611
Crecimiento anual			0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
TARIFAS																						
Tarifa de explotación (Tarifa P (€/m³))			5.1705	5.3873	5.4973	5.5812	5.6508	5.7175	5.7720	5.8200	5.8600	5.8920	5.9241	5.9471	5.9630	5.9810	5.9980	6.0120	6.0240	6.0340	6.0430	6.0510
Ingresos de explotación (Tarifa P (€/m³))			0.0609	0.0715	0.0730	0.0696	0.0693	0.0693	0.0693	0.0693	0.0700	0.0705	0.0708	0.0709	0.0709	0.0709	0.0709	0.0709	0.0709	0.0709	0.0709	0.0709
Factor de revisión de precios			0.62																			
TARIFA P*																						
Tarifa de explotación (Tarifa P (€/m³))			5.1705	5.2810	5.3348	5.3695	5.3982	5.4214	5.4425	5.4593	5.4700	5.4760	5.4780	5.4780	5.4760	5.4720	5.4660	5.4580	5.4480	5.4360	5.4220	5.4070
Ingresos de explotación (Tarifa P (€/m³))			0.0609	0.0701	0.0700	0.0693	0.0690	0.0686	0.0682	0.0678	0.0674	0.0671	0.0669	0.0668	0.0667	0.0666	0.0665	0.0664	0.0663	0.0662	0.0661	0.0660
Factor de revisión de precios			0.42																			
IPC anual			-0.30%	-1.80%	-3.20%	-2.40%	-1.60%	-0.80%	-1.00%	-1.60%	-2.00%	-3.50%	-3.00%	-3.60%	-3.60%	-3.60%	-3.60%	-3.60%	-3.60%	-3.60%	-3.60%	-3.60%
IPC anual acumulado			1.0000	0.9970	0.9824	0.9574	0.9320	0.9069	0.8819	0.8570	0.8320	0.7970	0.7720	0.7470	0.7220	0.6970	0.6720	0.6470	0.6220	0.5970	0.5720	0.5470
Factor de revisión Tarifa P a			1.0000	1.0000	1.0000	1.0400	1.0204	1.0128	1.0077	1.0055	1.0120	1.0170	1.0213	1.0255	1.0298	1.0340	1.0380	1.0420	1.0460	1.0500	1.0540	1.0580
Factor de revisión Tarifa P b			1.0000	1.0000	1.0000	1.0400	1.0204	1.0128	1.0077	1.0055	1.0120	1.0170	1.0213	1.0255	1.0298	1.0340	1.0380	1.0420	1.0460	1.0500	1.0540	1.0580
Factor de revisión Tarifa P*			1.0000	1.0000	1.0000	1.0100	1.0101	1.0093	1.0085	1.0078	1.0070	1.0062	1.0054	1.0047	1.0039	1.0031	1.0023	1.0015	1.0007	999.9	999.8	999.7
Factor de revisión Tarifa P*			1.0000	1.0000	1.0000	1.0100	1.0101	1.0093	1.0085	1.0078	1.0070	1.0062	1.0054	1.0047	1.0039	1.0031	1.0023	1.0015	1.0007	999.9	999.8	999.7
CUENTA DE EXPLORACIÓN																						
Tarifa Ingresos	0	0	-4.355.808	-4.531.393	-4.623.834	-4.682.788	-4.718.611	-4.748.719	-4.783.393	-4.801.323	-5.005.470	-5.133.115	-5.285.925	-5.443.079	-5.605.010	-5.771.759	-5.943.469	-6.120.287	-6.302.396	-6.489.881	-6.682.935	-6.881.751
Tarifa Ingresos	0	0	-60.454	-69.489	-63.560	-61.097	-60.440	-60.883	-61.097	-61.332	-61.826	-61.741	-61.955	-61.955	-61.955	-61.955	-61.955	-61.955	-61.955	-61.955	-61.955	-61.955
TOTAL INGRESOS	0	0	-4.416.262	-4.600.882	-4.687.394	-4.743.885	-4.779.051	-4.809.602	-4.862.490	-4.862.453	-5.066.296	-5.194.856	-5.347.880	-5.512.034	-5.666.965	-5.823.714	-5.985.424	-6.152.242	-6.324.351	-6.501.836	-6.684.890	-6.873.706
Tarifa Ingresos	0	0	-4.355.808	-4.531.393	-4.623.834	-4.682.788	-4.718.611	-4.748.719	-4.783.393	-4.801.323	-5.005.470	-5.133.115	-5.285.925	-5.443.079	-5.605.010	-5.771.759	-5.943.469	-6.120.287	-6.302.396	-6.489.881	-6.682.935	-6.881.751
Tarifa Ingresos	0	0	-60.454	-69.489	-63.560	-61.097	-60.440	-60.883	-61.097	-61.332	-61.826	-61.741	-61.955	-61.955	-61.955	-61.955	-61.955	-61.955	-61.955	-61.955	-61.955	-61.955
TOTAL INGRESOS*	0	0	-4.416.262	-4.600.882	-4.687.394	-4.743.885	-4.779.051	-4.809.602	-4.862.490	-4.862.453	-5.066.296	-5.194.856	-5.347.880	-5.512.034	-5.666.965	-5.823.714	-5.985.424	-6.152.242	-6.324.351	-6.501.836	-6.684.890	-6.873.706
COSTES VARIABLES	0	0	-300.765	-373.301	-388.440	-399.986	-413.986	-428.475	-443.472	-458.993	-475.058	-491.685	-508.955	-526.910	-545.540	-564.820	-583.968	-602.406	-620.581	-637.425	-653.118	-667.670
COSTES FIJOS	0	0	-680.103	-701.808	-728.542	-754.432	-780.433	-807.440	-834.440	-861.440	-888.440	-915.440	-942.440	-969.440	-996.440	-1.023.440	-1.050.440	-1.077.440	-1.104.440	-1.131.440	-1.158.440	-1.185.440
COSTES GENERALES	0	0	-197.765	-204.687	-211.851	-219.166	-226.540	-234.083	-241.765	-249.486	-257.245	-265.040	-272.870	-280.730	-288.620	-296.540	-304.480	-312.440	-320.420	-328.420	-336.440	-344.480
EBITDA	0	0	-3.167.600	-3.301.897	-3.350.530	-3.360.592	-3.368.992	-3.386.496	-3.403.993	-3.420.993	-3.437.993	-3.454.993	-3.471.993	-3.488.993	-3.505.993	-3.522.993	-3.539.993	-3.556.993	-3.573.993	-3.590.993	-3.607.993	-3.624.993
AMORTIZACIONES	0	0	-1.133.009	-1.133.009	-1.133.009	-1.133.009	-1.133.009	-1.133.009	-1.133.009	-1.133.009	-1.133.009	-1.133.009	-1.133.009	-1.133.009	-1.133.009	-1.133.009	-1.133.009	-1.133.009	-1.133.009	-1.133.009	-1.133.009	-1.133.009
DOTACIÓN FONDO DE REVERSIÓN	0	0	-478.804	-523.118	-539.679	-554.000	-570.313	-587.112	-604.411	-622.244	-640.567	-659.456	-678.908	-698.936	-719.552	-740.860	-762.861	-785.553	-808.944	-832.260	-856.508	-881.681
IBAI*	0	0	-3.555.252	-3.958.124	-4.023.292	-4.068.600	-4.095.312	-4.113.404	-4.123.404	-4.126.404	-4.126.404	-4.126.404	-4.126.404	-4.126.404	-4.126.404	-4.126.404	-4.126.404	-4.126.404	-4.126.404	-4.126.404	-4.126.404	-4.126.404
GASTOS FINANCIEROS	-743.389	-1.011.565	-1.055.851	-1.095.277	-1.132.487	-1.164.710	-1.191.668	-1.212.975	-1.229.975	-1.243.975	-1.254.975	-1.263.975	-1.270.975	-1.276.975	-1.281.975	-1.286.975	-1.291.975	-1.296.975	-1.301.975	-1.306.975	-1.311.975	-1.316.975
IB* ANTES IMPUESTOS	-743.389	-1.011.565	-1.055.851	-1.095.277	-1.132.487	-1.164.710	-1.191.668	-1.212.975	-1.229.975	-1.243.975	-1.254.975	-1.263.975	-1.270.975	-1.276.975	-1.281.975	-1.286.975	-1.291.975	-1.296.975	-1.301.975	-1.306.975	-1.311.975	-1.316.975
IB* ANTES IMPUESTOS*	-743.389	-1.011.565	-1.055.851	-1.095.277	-1.132.487	-1.164.710	-1.191.668	-1.212.975	-1.229.975	-1.243.975	-1.254.975	-1.263.975	-1.270.975	-1.276.975	-1.281.975	-1.286.975	-1.291.975	-1.296.975	-1.301.975	-1.306.975	-1.311.975	-1.316.975
IMPUESTO DE SOCIEDADES	223.017	303.470	148.028	77.850	48.008	24.330	0.000	-10.692	-36.719	-70.400	-112.072	-162.113	-219.980	-280.637	-344.710	-412.180	-483.128	-557.572	-635.681	-717.601	-743.389	
IMPUESTO DE SOCIEDADES*	223.017	303.470	148.028	77.850	48.008	24.330	0.000	-10.692	-36.719	-70.400	-112.072	-162.113	-219.980	-280.637	-344.710	-412.180	-483.128	-557.572	-635.681	-717.601	-743.389	
BENEFICIO NETO	-520.372	-708.090	-347.206	-244.549	-204.477	-174.636	-149.130	-128.000	-107.000	-85.700	-64.000	-42.000	-20.000	2.000	20.000	40.000	60.000	80.000	100.000	120.000	140.000	160.000
BENEFICIO NETO*	-520.372	-708.090	-347.206	-244.549	-204.477	-174.636	-149.130	-128.000	-107.000	-85.700	-64.000	-42.000	-20.000	2.000	20.000	40.000	60.000	80.000	100.000	120.000	140.000	160.000
RENTABILIDAD DE LA INVERSIÓN																						
RENTABILIDAD DEL PROYECTO																						
BENEFICIO NETO	-520.372	-708.090	-347.206	-244.549	-204.477	-174.636	-149.130	-128.000	-107.000	-85.700	-64.000	-42.000	-20.000	2.000	20.000	40.000	60.000	80.000	100.000	120.000	140.000	160.000
RENTABILIDAD DEL PROYECTO*	-520.372	-708.090	-347.206	-244.549	-204.477	-174.636	-149.130	-128.000	-107.000	-85.700	-64.000	-42.000	-20.000	2.000	20.000	40.000	60.000	80.000	100.000	120.000	140.000	160.000
AMORTIZACIONES	0	0	-1.133.009	-1.133.009	-1.133.009	-1.133.009	-1.133.009	-1.133.009	-1.133.009	-1.133.009	-1.133.009	-1.133.009	-1.133.009	-1.133.009	-1.133.009	-1.133.009	-1.133.009	-1.133.009	-1.133.009	-1.133.009	-1.133.009	-1.133.009
DOTACIÓN FONDO DE REVERSIÓN	0	0	-478.804	-523.118	-539.679	-554.000	-570.313	-587.112	-604.411	-622.244	-640.567	-659.456	-678.908	-698.936	-719.552	-740.860	-762.861	-785.553	-808.944	-832.260	-856.508	-881.681
EBITDA	-520.372	-708.090	-347.206	-244.549	-204.477	-174.636	-149.130	-128.000	-107.000	-85.700	-64.000	-42.000	-20.000	2.000	20.000	40.000	60.000	80.000	100.000	120.000	140.000	160.000
CASH FLOW DE EXPLORACIÓN	0	0	-2.700.000	-2.000.000	-2.000.000	-2.000.000	-2.000.000	-2.000.000	-2.000.000	-2.000.000	-2.000.000	-2.000.000	-2.000.000	-2.000.000	-2.000.000	-2.000.000	-2.000.000	-2.000.000	-2.000.000	-2.000.000	-2.000.000	-2.000.000
CASH FLOW DE EXPLORACIÓN*	0	0	-2.700.000	-2.000.000	-2.000.000	-2.000.000	-2.000.000	-2.000.000	-2.000.000	-2.000.000	-2.000.000	-2.000.000	-2.000.000	-2.000.000	-2.000.000	-2.000.000	-2.000.000	-2.000.000	-2.000.000	-2.000.000	-2.000.000	-2.000.000
CASH FLOW LIBRE DE EXPLORACIÓN	-17.402.789	-17.794.220	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CASH FLOW LIBRE DE EXPLORACIÓN*	-17.402.789																					

4. ANEXO IV. REVISIÓN DE LOS RATIOS EN LA ZONA P1

	año 01	año 02	año 1	año 2	año 3	año 4	año 5	año 6	año 7	año 8	año 9	año 10	año 11	año 12	año 13	año 14	año 15	año 16	año 17	año 18	año 19	año 20
BALANCE																						
ACTIVO																						
Immovilizado material	17.402.788	32.959.810	31.936.846	30.617.933	29.996.919	28.975.956	27.854.992	26.834.029	25.813.065	24.792.102	23.771.138	22.843.491	21.921.242	20.990.562	20.058.362	19.124.650	18.256.326	17.317.534	16.377.002	15.434.699	14.490.553	13.544.499
Immovilizado intangible	0	2.237.305	2.125.259	2.013.214	1.901.169	1.789.124	1.677.079	1.565.273	1.453.468	1.341.663	1.229.858	1.118.052	1.006.247	894.442	782.637	670.831	559.026	447.221	335.416	223.610	111.805	0
Clientes	0	0	362.158	395.626	407.395	418.962	431.320	444.024	457.107	470.579	484.452	498.737	513.448	528.596	544.194	560.257	576.796	593.830	611.370	629.431	648.029	667.181
H.P. Deudora IVA	2.784.446	2.489.123	0	0	0	0	0	0	0	0	0	14.931	16.469	15.954	16.554	17.133	28.455	18.354	18.061	20.349	21.061	0
Credito Fiscal	223.017	926.486	675.315	684.295	646.605	561.824	426.411	237.010	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Tesorería	0	0	-235.544	900.311	956.675	1.708.255	2.561.644	3.520.129	4.567.291	4.807.446	4.972.327	4.962.487	4.859.000	4.666.625	4.376.942	3.975.917	3.389.909	2.745.416	1.852.407	3.744.305	5.663.302	7.609.583
TOTAL ACTIVO	20.410.261	38.212.724	34.666.034	34.311.330	33.600.763	33.364.141	32.951.446	32.601.265	32.290.931	31.411.790	30.457.775	29.437.696	28.316.406	27.090.219	26.778.709	24.340.788	22.810.514	21.122.345	19.194.931	20.051.707	20.934.036	21.842.684
PASIVO																						
Capital	6.583.062	6.583.062	6.583.062	6.583.062	6.583.062	6.583.062	6.583.062	6.583.062	6.583.062	6.583.062	6.583.062	6.583.062	6.583.062	6.583.062	6.583.062	6.583.062	6.583.062	6.583.062	6.583.062	6.583.062	6.583.062	6.583.062
Reservas	-520.372	-1.228.468	-1.575.734	-1.596.698	-1.508.743	-1.310.921	-994.956	-555.121	-1.429	-71.948	-156.700	-256.344	-371.314	-502.331	-650.248	-815.917	-1.000.218	-1.204.007	-1.316.612	-1.316.612	-1.316.612	-1.316.612
Fondo de Reserva	0	0	478.864	-1.011.990	-1.540.659	-2.094.659	-2.654.972	-3.252.084	-3.856.495	-4.476.719	-5.119.286	-5.779.743	-6.457.549	-7.156.595	-7.876.147	-8.616.947	-9.379.819	-10.164.911	-10.974.925	-11.805.461	-12.662.319	-13.544.500
Deuda a Largo Plazo	11.563.115	30.369.096	29.366.499	28.295.822	27.152.339	25.931.098	24.626.814	23.233.838	21.748.140	20.157.278	18.460.374	16.648.080	14.712.550	12.645.404	10.437.693	8.079.856	5.561.687	2.872.283	0	0	0	0
Deuda a Corto Plazo	2.784.446	2.489.123	0	0	0	0	0	0	0	0	0	14.931	16.469	15.954	16.554	17.133	28.455	18.354	18.061	20.349	21.061	0
Acreedores a Corto Plazo	0	0	13.343	27.154	41.447	56.341	71.553	87.401	103.803	120.780	138.350	156.536	175.358	194.639	215.002	235.870	257.469	279.624	302.961	326.009	351.693	377.346
TOTAL PASIVO	20.410.261	38.212.723	34.666.035	34.311.329	33.600.763	33.364.140	32.951.444	32.601.264	32.290.929	31.411.787	30.457.771	29.437.695	28.316.402	27.090.216	26.778.708	24.340.786	22.810.510	21.122.341	19.194.828	20.051.704	20.934.035	21.842.681
INDICES DE SOLVENCIA ECONÓMICA																						
(R1) Ratio de solvencia (0,75<R1)	1,00	1,21	60,10	50,83	49,51	47,81	47,79	48,09	48,40	43,70	39,44	31,94	26,09	24,73	21,32	18,00	13,97	11,26	7,71	12,89	17,02	20,83
(R2) Ratio de apalancamiento (R2<0)	3,37	7,14	6,88	6,88	6,68	6,33	5,90	5,41	4,90	4,72	4,62	4,30	4,07	3,86	3,59	3,29	3,01	2,71	2,43	2,64	2,68	2,78
(R3) Ratio de endeudamiento (R3<0,8)	0,70	0,86	0,84	0,83	0,80	0,78	0,75	0,72	0,69	0,66	0,63	0,61	0,57	0,53	0,47	0,41	0,34	0,28	0,16	0,02	0,02	0,06
(R4) Ratio de capacidad de devolución (R4<1)	#DIV/0!	0,86	11	9	8	8	7	6	5	5	4	3	3	2	2	2	1	0	0	0	0	0
(R5) Ratio de Deudas con Entidades de Crédito (R5<0,6)	0,70	0,86	0,84	0,82	0,80	0,78	0,75	0,71	0,67	0,64	0,61	0,57	0,52	0,47	0,41	0,33	0,25	0,14	0,00	0,00	0,00	0,00
DEUDA BANCARIA																						
DELICIA FINANCIADA A LARGO PLAZO																						
Incremento de Principal	10.919.726	17.794.326																				
Capitalización de los intereses	743.389	1.011.595																				
Devoluciones de principal	0	0	-1.002.597	-1.070.677	-1.143.483	-1.221.240	-1.304.265	-1.392.976	-1.487.696	-1.589.952	-1.696.904	-1.812.294	-1.935.530	-2.067.149	-2.207.712	-2.357.836	-2.516.169	-2.689.404	-2.872.284	0	0	0
SALDO PRESTAMO PENDIENTE	11.663.116	30.369.096	29.366.499	28.295.822	27.152.339	25.931.098	24.626.814	23.233.838	21.748.140	20.157.278	18.460.374	16.648.080	14.712.550	12.645.404	10.437.693	8.079.856	5.561.687	2.872.283	0	0	0	0
Gastos financieros de la Deuda Largo Plazo	-648.718	-845.448	-1.973.444	-1.905.274	-1.832.468	-1.754.711	-1.754.711	-1.671.667	-1.582.975	-1.488.253	-1.387.089	-1.279.047	-1.163.657	-1.040.421	-908.805	-766.239	-618.115	-457.782	-286.547	-103.067	0	0
Gastos financieros después de impuestos	-454.103	-591.814	-1.301.411	-1.333.962	-1.282.727	-1.228.268	-1.170.167	-1.109.693	-1.041.777	-979.963	-906.533	-834.560	-759.295	-676.164	-587.766	-493.660	-376.447	-250.583	-72.967	0	0	0
SERVICIO DE LA DEUDA	-454.103	-591.814	-1.303.910	-1.340.369	-1.282.211	-1.249.638	-1.195.982	-1.130.142	-1.060.791	-996.639	-926.867	-850.627	-776.000	-706.441	-634.875	-559.604	-480.852	-397.067	-72.967	0	0	0
DISTRIBUCIÓN DEL BENEFICIO																						
BENEFICIO NETO	-520.372	-708.096	-347.266	-20.959	87.946	197.823	315.964	439.835	569.411	705.188	847.518	996.442	1.149.702	1.310.170	1.479.170	1.656.690	1.843.013	2.037.886	2.244.398	2.397.264	2.479.654	2.564.188
A Pérdidas de Ejercicios Anteriores	-520.372	-708.096	-347.266	-20.959	87.946	197.823	315.964	439.835	565.121	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
A Reserva Legal	0	0	0	0	0	0	0	0	1.429	70.919	84.752	99.644	114.970	147.917	185.669	228.799	278.999	336.999	404.999	484.999	574.999	674.999
A Reserva Voluntaria	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
A Dividendos	0	0	0	0	0	0	0	0	12.861	634.669	762.766	896.798	1.034.732	1.179.153	1.331.253	1.491.021	1.658.711	1.834.098	2.019.792	2.199.264	2.379.654	2.564.188
Pérdidas Ejercicios anteriores	-520.372	-1.228.468	-1.575.734	-1.596.698	-1.508.743	-1.310.921	-994.956	-555.121	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Reserva legal	0	0	0	0	0	0	0	0	1.429	71.948	156.700	256.344	371.314	502.331	650.248	815.917	1.000.218	1.204.007	1.316.612	1.316.612	1.316.612	1.316.612
Reserva voluntaria	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TOTAL RESERVAS	-520.372	-1.228.468	-1.575.734	-1.596.698	-1.508.743	-1.310.921	-994.956	-555.121	1.429	71.948	156.700	256.344	371.314	502.331	650.248	815.917	1.000.218	1.204.007	1.316.612	1.316.612	1.316.612	1.316.612
MOVIMIENTO DE TESORERÍA																						
Aportaciones al Capital Social	6.583.062	0	-356.263	524.698	652.442	747.718	849.276	954.149	1.055.762	870.333	923.024	882.195	926.342	983.729	1.034.370	1.084.642	1.067.190	1.183.926	1.232.577	4.283.503	4.302.450	4.504.345
Cash Flow de Actividad	6.583.062	0	0	0	0	0	0	0	-12.861	-634.669	-762.766	-896.798	-1.034.732	-1.179.153	-1.331.253	-1.491.021	-1.658.711	-1.834.098	-2.019.792	-2.199.264	-2.379.654	-2.564.188
Dividendos	0	0	0	0	0	0	0	0	4.361	4.491	4.624	4.762	4.903	5.049	5.200	5.354	5.514	5.678	5.846	6.020	6.200	6.384
Inversión en Tesorería	0	0	-235.544	535.854	656.365	751.580	853.389	958.384	1.047.252	240.155	164.882	-9.841	-103.487	-190.375	-291.683	-401.025	-586.008	-844.493	-893.369	1.892.259	1.916.996	1.946.541
TOTAL MOVIMIENTO TESORERÍA	0	0	-235.544	535.854	656.365	751.580	853.389	958.384	1.047.252	240.155	164.882	-9.841	-103.487	-190.375	-291.683	-401.025	-586.008	-844.493	-893.369	1.892.259	1.916.996	1.946.541

5. ANEXO V. DATOS DE LAS DEPURADORAS EN FUNCIONAMIENTO DE ARAGÓN EN 2012

12/12/2013

ANÁLISIS DEL DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA DE SANEAMIENTO DE ARAGÓN, EN FUNCIÓN DEL CAUDAL DE DISEÑO Y EL CAUDAL TRATADO EN 2012 ORDENADAS DE MAYOR A MENOR CAUDAL REMANENTE

EDAR	FECHA DE ENTRADA EN SERVICIO	Q DISEÑO (M³/DÍA)	Q 2012 (M³/DÍA)	CAUDAL REMANENTE (Q DISEÑO - Q 2012)	% Q 2012 S/ Q DISEÑO	ACUMULADO Q DISEÑO	% S/ Q DISEÑO TOTAL
Loscos	08/02/2011	400	31	369	7,75%	400	0,12%
Zuera	03/11/2009	12.500	1.392	11.108	11,14%	12.900	3,95%
Plaza - La Muela	15/12/2006	10.000	1.328	8.672	13,28%	22.900	7,01%
Terrer	23/12/2008	425	59	366	13,88%	23.325	7,14%
Mequinenza	17/01/2001	2.250	411	1.839	18,27%	25.575	7,83%
Ayerbe	24/10/2008	2.200	422	1.778	19,18%	27.775	8,50%
Acumuer	30/07/2012	80	16	64	20,00%	27.855	8,52%
Yebra de Basa	16/10/2012	160	34	126	21,25%	28.015	8,57%
Frasno (El)	10/11/2008	500	108	392	21,60%	28.515	8,73%
Burgode Ebro (El)	16/02/2010	1.750	414	1.336	23,66%	30.265	9,26%
Puebla de Valverde (La)	14/11/2005	450	109	341	24,22%	30.715	9,40%
Ara	30/05/2012	80	21	59	26,25%	30.795	9,42%
Sotonera(La)	16/04/2008	500	136	364	27,20%	31.295	9,58%
Aso de Sobremonte	26/03/2012	80	22	58	27,50%	31.375	9,60%
Mosqueruela	14/11/2005	400	110	290	27,50%	31.775	9,72%
Longares	04/01/2012	1.300	365	935	28,08%	33.075	10,12%
Almolda (La)	07/07/2008	270	76	194	28,15%	33.345	10,20%
Candasnos	08/05/2008	400	113	287	28,25%	33.745	10,33%
Estercuel	30/12/2008	300	88	212	29,33%	34.045	10,42%
Calamocha	06/09/2005	4.000	1.177	2.823	29,43%	38.045	11,64%
Celadas	02/12/2008	250	75	175	30,00%	38.295	11,72%
Remolinos	16/07/2009	700	211	489	30,14%	38.995	11,93%
Bronchales	19/12/2008	1.600	493	1.107	30,81%	40.595	12,42%
Zaida (La)	16/10/2009	280	87	193	31,07%	40.875	12,51%
Manzanera	01/06/2010	550	172	378	31,27%	41.425	12,68%
Novillas	15/06/2009	600	188	412	31,33%	42.025	12,86%
Puebla de Castro (La)	13/08/2006	400	127	273	31,75%	42.425	12,98%
Villanueva de Huerva	19/12/2011	450	143	307	31,78%	42.875	13,12%
Celia	26/10/2004	1.800	574	1.226	31,89%	44.675	13,67%
Muela (La)	31/01/2007	1.750	563	1.187	32,17%	46.425	14,21%
Estopiñán del Castillo	01/04/2006	160	53	107	33,13%	46.585	14,26%
Figueruelas	05/11/2009	6.000	2.028	3.972	33,80%	52.585	16,09%
Ontinar del Salz	24/10/2008	640	219	421	34,22%	53.225	16,29%
Báguena	06/06/2008	760	263	497	34,61%	53.985	16,52%
Moros	16/06/2011	200	72	128	36,00%	54.185	16,58%
Sos del Rey Católico	16/04/2008	500	180	320	36,00%	54.685	16,74%
Alcalá de la Selva	09/04/2010	1.450	524	926	36,14%	56.135	17,18%
Novallas	03/08/2009	750	276	474	36,80%	56.885	17,41%
Magallón	15/10/2012	400	148	252	37,00%	57.285	17,53%
Ejea de los Caballeros	15/06/2000	16.215	6.047	10.168	37,29%	73.500	22,49%
Aliaga	17/03/2009	250	95	155	38,00%	73.750	22,57%
Lumpiague	06/09/2011	800	304	496	38,00%	74.550	22,82%
Castejón de Monegros	19/05/2008	285	109	176	38,25%	74.835	22,90%
Sarrión	14/11/2005	750	293	457	39,07%	75.585	23,13%
Belo	23/05/2008	345	135	210	39,13%	75.930	23,24%
Martín del Río	26/11/2008	350	137	213	39,14%	76.280	23,34%
Alloza	15/01/2009	300	120	180	40,00%	76.580	23,44%
Ballobar	03/10/2008	450	184	266	40,89%	77.030	23,57%
Pina de Ebro	24/09/2009	1.400	573	827	40,93%	78.430	24,00%
Mora de Rubielos	27/02/2009	1.500	616	884	41,07%	79.930	24,46%
Yosa de Sobremonte	30/04/2012	80	33	47	41,25%	80.010	24,49%
Herrera de los Navarros	07/12/2011	300	124	176	41,33%	80.310	24,58%
Épila	01/04/2007	2.500	1.035	1.465	41,40%	82.810	25,34%
Alfamén	22/12/2011	770	321	449	41,69%	83.580	25,58%
Ontñena	27/05/2008	275	116	159	42,18%	83.855	25,66%
Oliete	18/11/2008	425	180	245	42,35%	84.280	25,79%
Albarracín	22/12/2008	880	374	506	42,50%	85.160	26,06%
Villafranca del Campo	23/05/2008	350	153	197	43,71%	85.510	26,17%
Lanaja	19/05/2008	650	285	365	43,85%	86.160	26,37%
Uncastillo	05/06/2008	500	223	277	44,60%	86.660	26,52%
Tauste	21/02/2005	3.500	1.574	1.926	44,97%	90.160	27,59%
Calanda	27/06/2001	1.650	747	903	45,27%	91.810	28,10%

EDAR EN FUNCIONAMIENTO_2012 (BANK & Q USADOS)

12/12/2013

EDAR	FECHA DE ENTRADA EN SERVICIO	Q DISEÑO (M³/DÍA)	Q 2012 (M³/DÍA)	CAUDAL REMANENTE (Q DISEÑO - Q 2012)	% Q 2012 S/ Q DISEÑO	ACUMULADO Q DISEÑO	% S/ Q DISEÑO TOTAL
Lascuarre	01/04/2006	136	62	74	45,59%	91.946	28,14%
Aniñón	01/10/2008	350	162	188	46,29%	92.296	28,25%
Gallur	18/03/2006	2.000	927	1.073	46,35%	94.296	28,86%
Andorra	25/06/2001	4.200	1.982	2.218	47,19%	98.496	30,14%
Gurrea de Gállego	24/02/2009	600	285	315	47,50%	99.096	30,33%
Maluenda	01/07/2009	400	190	210	47,50%	99.496	30,45%
Fuendejalón	12/08/2009	450	214	236	47,56%	99.946	30,59%
Cétina	19/02/2009	300	143	157	47,67%	100.246	30,68%
Daroca	15/12/2009	1.200	575	625	47,92%	101.446	31,05%
Alcorisa	23/10/2000	1.400	674	726	48,14%	102.846	31,47%
Almunia de Doña Godina (La)	20/12/2011	10.500	5.064	5.436	48,23%	113.346	34,69%
San Miguel del Cinca	12/06/2008	500	242	258	48,40%	113.846	34,84%
Campo	04/06/2004	375	187	188	49,87%	114.221	34,96%
Lésera	14/11/2008	300	153	147	51,00%	114.521	35,05%
Rubielos de Mora	14/11/2005	1.000	520	480	52,00%	115.521	35,35%
Tarazona	01/12/2000	7.440	3.885	3.555	52,22%	122.961	37,63%
Rio Huerva	25/06/2003	9.598	5.021	4.577	52,31%	132.559	40,57%
Villarguemedo	30/12/2008	300	161	139	53,67%	132.859	40,66%
Caríñena	10/12/2000	4.000	2.155	1.845	53,88%	136.859	41,88%
Leciñena	03/07/2008	400	219	181	54,75%	137.259	42,01%
Tornos	06/06/2008	260	143	117	55,00%	137.519	42,09%
Barbastro	03/12/2000	8.640	4.758	3.882	55,07%	146.159	44,73%
Albalate del Arzobispo	16/10/2000	1.200	663	537	55,25%	147.359	45,10%
Boguñeni	22/10/2009	2.000	1.129	871	56,45%	149.359	45,71%
Graus	31/01/2007	1.440	829	611	57,57%	150.799	46,15%
Jaca	20/12/1999	25.000	14.524	10.476	58,10%	175.799	53,80%
Pradilla de Ebro	15/06/2009	400	233	167	58,25%	176.199	53,92%
Sástago	11/05/2010	600	355	245	59,17%	176.799	54,11%
Alagón	01/06/2005	3.000	1.788	1.212	59,60%	179.799	55,03%
Ojos Negros	23/05/2008	580	346	234	59,66%	180.379	55,20%
Utrillas	08/01/2001	1.600	969	631	60,56%	181.979	55,69%
Sádaba	26/09/2008	900	551	349	61,22%	182.879	55,97%
Robres /	28/05/2008	400	246	154	61,50%	183.279	56,09%
Montalbán	08/01/2001	1.500	940	560	62,67%	184.779	56,55%
Escatrón	17/05/2010	800	502	298	62,75%	185.579	56,79%
Ariza	16/01/2009	500	317	183	63,40%	186.079	56,95%
Used	06/06/2008	500	320	180	64,00%	186.579	57,10%
•Torrijo de la Cañada	19/02/2009	350	226	124	64,57%	186.929	57,21%
Muniesa	14/11/2008	400	260	140	65,00%	187.329	57,33%
Huesca	18/05/1999	26.000	16.901	9.099	65,00%	213.329	65,29%
Tamarite de Litera	31/01/2007	1.850	1.204	646	65,08%	215.179	65,85%
Villarroya de la Sierra	18/12/2008	338	220	118	65,09%	215.517	65,96%
Alba - Sta Eulalia	05/02/2009	650	425	225	65,38%	216.167	66,16%
Zaidín	31/01/2007	600	396	204	66,00%	216.767	66,34%
Alcáñiz	23/10/2000	5.400	3.581	1.819	66,31%	222.167	67,99%
Caspe	14/02/2005	6.000	4.010	1.990	66,83%	228.167	69,83%
Grañén	14/08/2008	1.500	1.012	488	67,47%	229.667	70,29%
Belchite	14/11/2008	450	312	138	69,33%	230.117	70,42%
Teruel	20/12/1999	11.250	7.838	3.412	69,67%	241.367	73,87%
Binéfar	21/05/2001	12.269	8.554	3.715	69,72%	253.636	77,62%
Orihuela del Tremedal	19/12/2008	450	314	136	69,78%	254.086	77,76%
Torrente de Cinca	27/05/2008	400	282	118	70,50%	254.486	77,88%
Morata de Jalón	22/12/2011	1.600	1.143	457	71,44%	256.086	78,37%
Mallén	16/02/2006	1.800	1.292	508	71,78%	257.886	78,92%
Ateca	01/02/2006	1.300	934	366	71,85%	259.186	79,32%
Monreal del Campo	23/05/2008	3.000	2.159	841	71,97%	262.186	80,24%
Tardienta	25/02/2008	700	506	194	72,29%	262.886	80,45%
Villanueva de Gállego	23/06/2009	4.000	2.892	1.108	72,30%	266.886	81,68%
Luna	01/04/2003	450	333	117	74,00%	267.336	81,82%
Binaced	26/06/2008	600	448	152	74,67%	267.936	82,00%
Bujaraloz	01/02/2008	650	487	163	74,92%	268.586	82,20%
Perarrúa	01/06/2005	60	45	15	75,00%	268.646	82,22%
Borja	01/06/2008	2.768	2.082	686	75,22%	271.414	83,06%
Caminreal	23/05/2008	1.600	1.207	393	75,44%	273.014	83,55%
Escuer	26/03/2012	80	61	19	76,25%	273.094	83,58%
Calatayud	15/05/2001	8.500	6.515	1.985	76,65%	281.594	86,18%
Ibdes	26/05/2009	2.000	1.533	467	76,65%	283.594	86,79%
Arándiga	01/10/2008	120	92	28	76,67%	283.714	86,83%

EDAR EN FUNCIONAMIENTO_2012 (RANK % Q USADO)

12/12/2013

EDAR	FECHA DE ENTRADA EN SERVICIO	Q DISEÑO (M³/DÍA)	Q 2012 (M³/DÍA)	CAUDAL REMANENTE (Q DISEÑO - Q 2012)	% Q 2012 S/ Q DISEÑO	ACUMULADO Q DISEÑO	% S/ Q DISEÑO TOTAL
Biescas	13/08/2012	2.400	1.911	489	79,63%	286.114	87,56%
Gelsa	19/04/2010	500	408	92	81,60%	286.614	87,71%
Alfambra	26/11/2008	250	208	42	83,20%	286.864	87,79%
Monzón	02/06/2003	7.500	6.273	1.227	83,64%	294.364	90,09%
Escucha	17/02/2009	450	381	69	84,67%	294.814	90,22%
Puebla de Híjar (La)	03/11/2008	2.500	2.153	347	86,12%	297.314	90,99%
Ariño	01/07/2005	350	303	47	86,57%	297.664	91,10%
Gea de Albarracín	30/12/2008	200	177	23	88,50%	297.864	91,16%
Biota	18/11/2008	500	446	54	89,20%	298.364	91,31%
Miedes de Aragón	07/10/2008	200	183	17	91,50%	298.564	91,37%
Sariñena	02/01/2008	2.500	2.300	200	92,00%	301.064	92,14%
Villanueva de Sigüenza	20/06/2008	400	384	16	96,00%	301.464	92,26%
Fraga	31/10/2001	5.140	4.941	199	96,13%	306.604	93,83%
Híjar	18/11/2008	1.500	1.449	51	96,60%	308.104	94,29%
Yésero	09/04/2012	160	156	4	97,50%	308.264	94,34%
Abena	30/08/2012	40	40	0	100,00%	308.304	94,35%
Aldehuela-1	01/01/2006	30	30	0	100,00%	308.334	94,36%
Aldehuela-2	01/01/2006	30	30	0	100,00%	308.364	94,37%
Bardenas	01/02/2002	60	60	0	100,00%	308.424	94,39%
Binué	16/08/2012	8	8	0	100,00%	308.432	94,39%
Carramolina	15/01/2008	160	160	0	100,00%	308.592	94,44%
Concud	01/01/2006	60	60	0	100,00%	308.652	94,46%
El Bayo	01/02/2002	60	60	0	100,00%	308.712	94,48%
Gargallo	01/07/2005	60	60	0	100,00%	308.772	94,50%
Javierre del Obispo	14/09/2012	20	20	0	100,00%	308.792	94,50%
Lárede	14/09/2012	40	40	0	100,00%	308.832	94,51%
Navasilla	01/10/2012	8	8	0	100,00%	308.840	94,52%
Oliván	14/09/2012	40	40	0	100,00%	308.880	94,53%
Orós Alto	30/11/2012	20	20	0	100,00%	308.900	94,54%
Oros Bajo	30/08/2012	20	20	0	100,00%	308.920	94,54%
Osán	14/09/2012	20	20	0	100,00%	308.940	94,55%
Pinsoro	01/02/2002	60	60	0	100,00%	309.000	94,57%
Rivas	01/11/2002	60	60	0	100,00%	309.060	94,58%
S Anastasia	01/02/2002	60	60	0	100,00%	309.120	94,60%
Sabinar	01/02/2002	60	60	0	100,00%	309.180	94,62%
San Blas	01/01/2006	60	60	0	100,00%	309.240	94,64%
Sobás	30/08/2012	20	20	0	100,00%	309.260	94,65%
Valareña	01/02/2002	60	60	0	100,00%	309.320	94,66%
Villalba Baja	01/01/2006	60	60	0	100,00%	309.380	94,68%
Brea de Aragón	28/04/2009	2.550	2.572	-22	100,86%	311.930	95,46%
Sabiñánigo	13/12/2000	4.125	4.170	-45	101,09%	316.055	96,73%
Alhama de Aragón	01/07/2009	1.000	1.028	-28	102,80%	317.055	97,03%
Quinto	24/09/2009	1.500	1.571	-71	104,73%	318.555	97,49%
Villafranca de Ebro	20/01/2010	1.700	1.795	-95	105,59%	320.255	98,01%
Fuentes de Ebro	19/11/2009	1.500	1.585	-85	105,67%	321.755	98,47%
Saviñán	01/06/2010	250	278	-28	111,20%	322.005	98,55%
Alcolea de Cinca	01/07/2008	500	629	-129	125,80%	322.505	98,70%
Villel	01/12/2008	225	298	-73	132,44%	322.730	98,77%
Lalieza	12/06/2008	300	418	-118	139,33%	323.030	98,86%
Azuara	14/11/2008	400	559	-159	139,75%	323.430	98,98%
Albalade Cinca	01/02/2008	816	1.175	-359	144,00%	324.246	99,23%
Osso de Cinca	01/07/2008	600	913	-313	152,17%	324.846	99,42%
Peñalba	18/06/2008	350	593	-243	169,43%	325.196	99,52%
Senegúe	19/10/2012	80	142	-62	177,50%	325.276	99,55%
Cedrillas	05/02/2009	200	366	-166	183,00%	325.476	99,61%
Almudévar	01/02/2008	600	1.159	-559	193,17%	326.076	99,79%
Belver de Cinca	01/02/2008	520	1.083	-563	208,27%	326.596	99,95%
Hoz de Jaca	02/11/2012	160	361	-201	225,63%	326.756	100,00%
TOTALES		326.756	188.788	137.968	57,78%		

EDAR EN FUNCIONAMIENTO_2012 (DAR N° Q USADO)

6. ANEXO VI. TÉCNICAS DE DEPURACIÓN DISPONIBLES

A continuación se presenta un estudio más detallado de las características de las distintas técnicas de depuración disponibles.

EL PRETRATAMIENTO

- **Desbaste:** consiste en eliminar del agua los elementos que por su volumen son arrastrados por el agua residual. Suelen ubicarse antes de los colectores.
 - **Rejas:** son barras paralelas con separación uniforme. Pueden ser rejas de gruesos, no permiten el paso de tamaños superiores a 20-60 mm, y de finos, no permiten pasar tamaños superiores a 6-12 mm. En general, en las plantas pequeñas se limpian manualmente y en las grandes automáticamente.



Figura 1. Rejas de desbaste, EDAR de las Tablas (Cádiz). Fuente: CENTA; Instituto Tecnológico de Canarias, (2006).

- **Bombas dilaceradoras:** trituran los materiales y sustituyen a las rejas. Suelen ir después del pozo de gruesos y antes del tamiz rotativo.
 - **Tamices:** son placas perforadas o mallas metálicas, de tipo estático o dinámico (vibrantes, oscilantes, rotativos). Impiden el paso de partículas superiores a 6 mm.
- **Desarenadores:** eliminan materia de mayor densidad, como las arenas mayores de 0,2 mm de tamaño, generalmente de forma manual. La velocidad de sedimentación ideal es de unos 80 m/h. Pueden ser de tipo rectangular aireado (flujo helicoidal), en canal (flujo horizontal, para poblaciones ≤ 5.000 habitantes), o de flujo tangencial.
- **Desengrasado:** elimina las grasas y las materias que flotan debido a su densidad. Cuentan con una zona donde se inyecta aire y se desemmulsiona la grasa y otra de tranquilización donde la grasa flota. Pueden ser: estáticos o aireados.

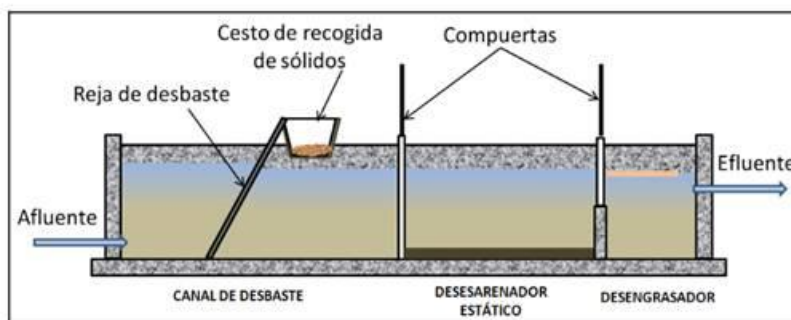


Figura 2. Pretratamiento con elementos de limpieza manual. Fuente: (Huertas, y otros, 2013).

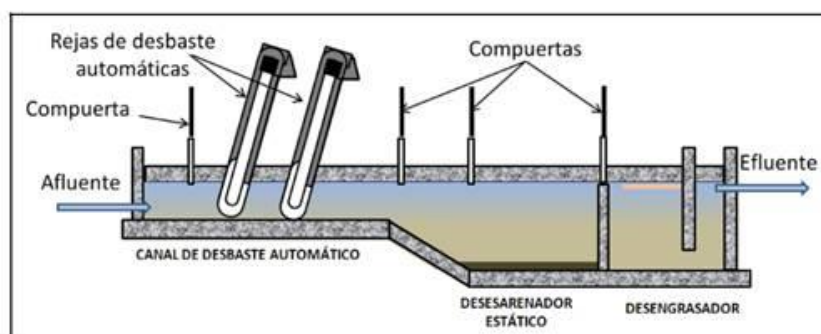


Figura 3. Pretratamiento con elementos de limpieza automática-manual. Fuente: Huertas, y otros, (2013).

Huertas y otros (2013), señalan el sistema a emplear según el tamaño de la población:

- < de 250 h-e: rejas de desbaste manual y tratamiento primario que permita eliminar conjuntamente arenas y grasas, del tipo fosa séptica o similar.
- Entre 250-1.000 h-e: igual que en el caso anterior, pero con rejas de desbaste, manuales o automáticas.
- Entre 1.000-2.000 h-e: rejas de desbaste manuales o automáticas y sistema combinado desarenador - desengrasador.

TRATAMIENTO PRIMARIO

○ **Fosa séptica**

Es un sistema sencillo de tratamiento de aguas residuales que tiene por objetivo eliminar los sólidos del agua residual. Ésta se compartimenta en una parte de digestión, donde se separan los sólidos flotantes, incluyendo aceites y grasas, y otra parte de decantación, donde sedimentan los sólidos y se acumulan en el fondo.

Se utilizan como único tratamiento sólo en el caso de vertidos pequeños de viviendas aisladas o en poblaciones menores de 250 h-e. En general, se emplea como tratamiento primario previo a otros sistemas de depuración en poblaciones menores de 1.000 h-e.

La fosa se encuentra enterrada, por lo que las condiciones meteorológica apenas le influyen, no causa impacto visual ni sonoro y el posible impacto por generar olores se minimiza colocando filtros en las chimeneas. Se adapta sin problemas a posibles cambios de caudal y carga.

Los costes de instalación y mantenimiento son bajos, oscilando los primeros entre 100-200 €/h-e y los segundos entre 20-60 €/h-e/año, en poblaciones menores de 250 h-e y como tratamiento único (Huertas, y otros, 2013). Su mantenimiento es sencillo, y consiste en una limpieza periódica a medida que se forma una capa de flotantes en la superficie o se acumulan fangos en el fondo. En las aguas residuales urbanas los fangos extraídos pueden utilizarse como enmienda orgánica.

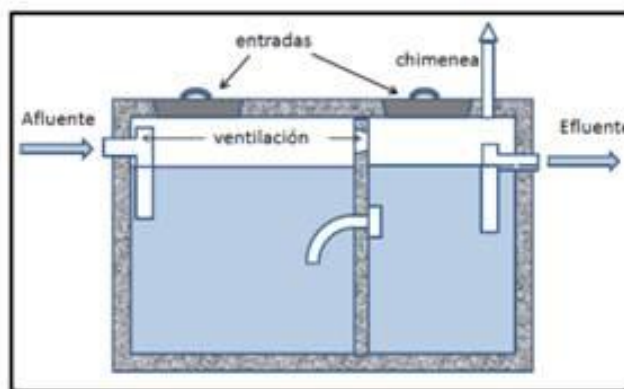


Figura 4. Esquema de una fosa séptica. Fuente: Huertas, y otros, (2013).

○ Tanque Imhoff

Es un depósito con dos zonas diferenciadas por una estructura, una superior de sedimentación, en la que se decantan los sólidos, y una inferior de digestión, donde se almacenan y digieren los sólidos decantados. Las zonas se encuentran separadas para evitar el paso de los gases de la zona de digestión a la de sedimentación. Actualmente no se construyen, y han sido sustituidos por los tanques Emscher.

Generalmente se emplea como tratamiento primario de las aguas residuales como etapa previa a otros sistemas de depuración en poblaciones menores de 1.000 h-e.

El tanque se encuentra enterrado, por lo que las condiciones meteorológica apenas le influyen, no causa impacto visual ni sonoro y la posible generación de olores se minimiza colocando filtros en las chimeneas. Se adapta sin problemas a cambios de caudal y carga, siempre que no se tengan elevadas sobrecargas hidráulicas.

Los costes de instalación y mantenimiento son bajos, oscilando los primeros entre 100-200 €/h-e y los segundos entre 10-20 €/h-e/año, para poblaciones menores de 1.000 h-e (Huertas, y otros, 2013). Son equipos de mantenimiento sencillo, consistente en la limpieza periódica del tanque a medida que se forma una capa de flotantes en la superficie o se acumulan fangos en el fondo. En las aguas residuales urbanas los fangos extraídos pueden utilizarse como enmienda orgánica.

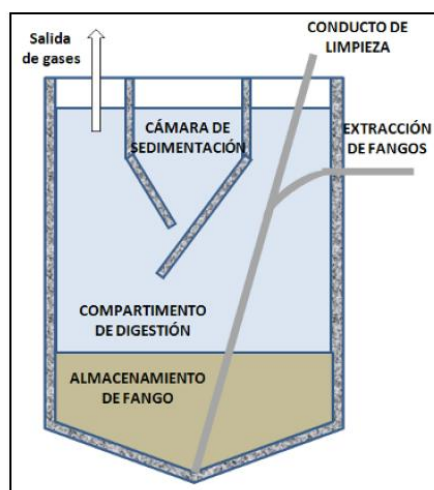


Figura 5. Esquema de un tanque Imhoff. Fuente: Huertas, y otros, (2013).

○ **Tanque Emscher**

Combina la sedimentación y la digestión de fangos en dos compartimentos. En el superior se produce la decantación y en el inferior la digestión anaerobia. A diferencia de los Imhoff, este sistema no se colmata, puesto que tiene un sistema de extracción de fangos.

○ **Decantador primario**

Tiene la función de eliminar la mayor parte de los sólidos en suspensión del agua gracias a la acción de la gravedad. Suelen enterrarse y son de tipo estático (sin elementos mecánicos) o dinámico (con elementos electromecánicos para la recogida de flotantes y fangos).

Normalmente se emplea como tratamiento primario de las aguas residuales como etapa previa a otros sistemas de depuración en poblaciones superiores a 500 h-e, siendo óptimo en poblaciones de 1.000-2.000 h-e.

Ante bajas temperaturas del agua disminuye la velocidad de sedimentación. La lluvia puede aumentar excesivamente el caudal a tratar y la materia en suspensión y este sistema no soporta bien las sobrecargas de caudal y carga orgánica. Los fangos generados deben gestionarse adecuadamente para evitar la generación de olores.

Los costes de implantación no son muy elevados, siendo para poblaciones entre 1.000-2.000 h-e de 65-70 €/h-e y suponiendo los costes de explotación entre 9-12 €/h-e/año. La explotación y el mantenimiento son sencillos y consisten en limpiar y extraer los fangos y flotantes. Los fangos tienen que extraerse con cierta frecuencia y al no estar estabilizados deben tratarse a través de un gestor autorizado.

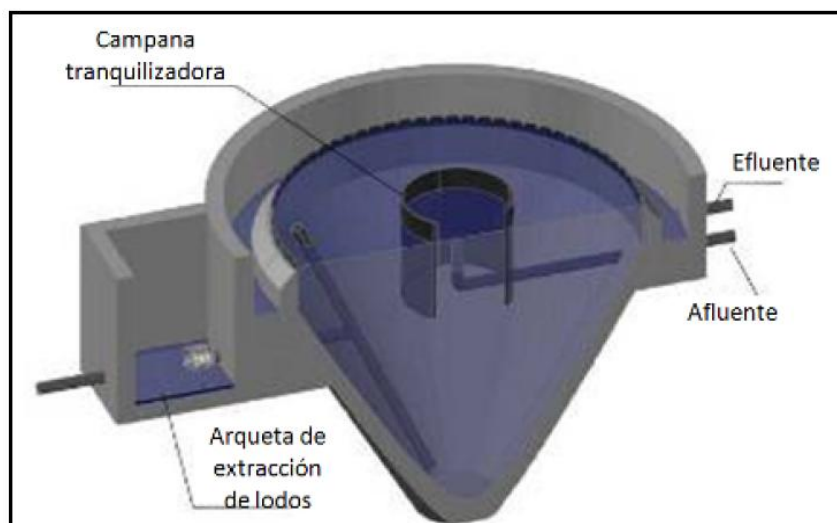


Figura 6. Esquema de un decantador circular. Fuente: Huertas, y otros, (2013).

TRATAMIENTO SECUNDARIO

A. Depuración convencional

A continuación se detallan los principales métodos convencionales:

Bacterias fijas a un soporte:

- **Lecho bacteriano o filtro percolador:** la depuración tiene lugar mediante procesos aerobios con biomasa inmovilizada. Constan de las siguientes partes:
 - Reactor biológico o lecho bacteriano: se hacen correr aguas residuales, previamente decantadas, sobre un soporte de material poroso (plástico o piedras) en el que crecen microorganismos depuradores formando una biopelícula. Consta de sistemas de alimentación de agua y ventilación.
 - Decantador secundario o clarificador: se clarifica el agua y se extrae el exceso de fango generado.
 - Recirculación del agua clarificada al reactor: no siempre es necesaria.

Normalmente se emplea como **tratamiento secundario** de aguas residuales en poblaciones de entre 200-2.000 h-e. Requiere poca superficie, entre 0,3-0,75 m²/h-e.

En climas fríos puede ser necesario aislarlo o aplicar ventilación forzada para impedir que disminuyan los rendimientos. La diferencia de temperatura entre el agua residual y el aire debe ser inferior a 1,5°C, para que el agua pierda temperatura adecuadamente al circular.

No es un sistema que se integre paisajísticamente. Soporta bien sobrecargas hidráulicas y contaminantes tóxicos, pero es menos flexible que los fangos activos si varían las condiciones de diseño.

Su coste de instalación es elevado, entre 180-350 €/h-e para poblaciones entre 200 y 2.000 h-e. Los costes de explotación están entre 16-25 €/h-e/año. La explotación es relativamente sencilla y el mantenimiento algo más complejo por los equipos mecánicos, suponiendo tareas de limpieza y gestión de residuos.

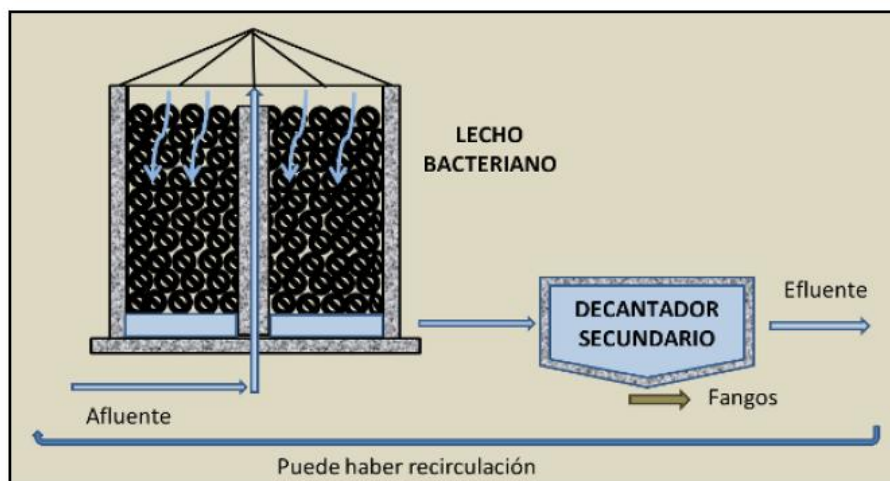


Figura 7. Esquema de lechos bacterianos. Fuente: Huertas, y otros, (2013).

○ **Biodisco o contactor biológico rotativo (CBR):**

Consiste en un eje alrededor del cual giran unos discos semisumergidos en los que se crea una biopelícula de microorganismos depuradores. Los discos rotan para que la biomasa fijada se oxigene. Permiten tratar aguas residuales e industriales. El agua debe pasar por dos elementos:

- Contactor: es un soporte giratorio generalmente semienterrados en un depósito. Pueden ser biodiscos, biocilindros o sistemas híbridos.
- Decantador secundario/clarificador: en él se extrae el exceso de fango, consistente en biopelículas desprendidas de los biodiscos al llegar a cierto espesor.

Normalmente se emplea como **tratamiento secundario** de las aguas residuales en poblaciones de entre 500 y 2.000 h-e. Requiere poca superficie, entre 0,3-0,7 m²/h-e.

Suelen estar cubiertos para protegerlos de agentes atmosféricos, para evitar averías y que las bajas temperaturas disminuyan la velocidad del proceso. No produce grandes impactos y es un sistema sensible a fuertes variaciones de caudal.

Tiene elevados costes de instalación, entre 325-400 €/h-e para poblaciones entre 200-2.000 h-e. La explotación es relativamente sencilla y el coste de explotación varía entre 16-25 €/h-e/año. Deben realizarse tareas de limpieza y extracción de fangos y flotantes. El mantenimiento es complejo puesto que existen equipos mecánicos, y existe cierta dependencia de la empresa fabricante.

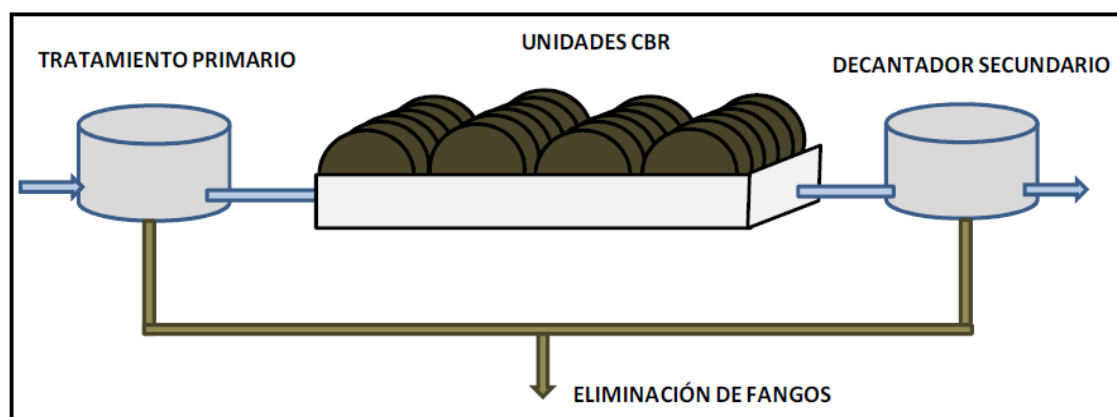


Figura 8. Esquema de contactor biológico rotativo. Fuente: Huertas, y otros, (2013).

Bacterias en suspensión:

- **Fangos activos o lodos activados:** es un proceso biológico consistente en el desarrollo de un cultivo bacteriano disperso en balsas de aireación con un depósito agitado, aireado y alimentado con el agua residual. En el proceso se mezclan las aguas residuales con lodos bacteriológicamente muy activos, y los microorganismos depuran el agua. Posteriormente se separan las fases "agua depurada" y "lodos depuradores". Este proceso es una intensificación de los procesos de autodepuración que existen en la naturaleza, empleando elevadas densidades de microorganismos.

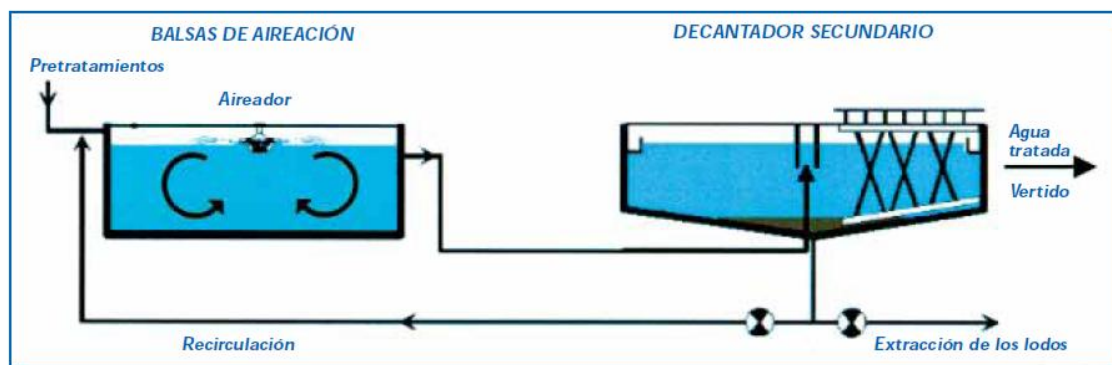


Figura 9. Esquema de un lodo activado. Fuente: Dirección General del Medio ambiente de la Comisión Europea, (2001).

Dentro de los fangos activos se pueden distinguir los siguientes tipos de sistemas:

- **Aireación prolongada (AP) u oxidación total:** consta de dos cámaras separadas:
 - Reactor biológico: tanque agitado, aireado y alimentado con el agua residual, en el que se produce la parte biológica del proceso.
 - Decantador secundario: tanque donde sedimenta el fango producido, que se recircula a la cabecera del tratamiento, y cuyo exceso se elimina.
- **Reactor secuencial (SBR):** es una variante del tratamiento de aireación prolongada, en el que hay un único depósito, reactor, donde ocurre tanto la degradación de contaminantes como la clarificación del efluente. Permite eliminar un 95 % de la DBO_5 para un tiempo de retención hidráulico superior a 8 horas. Las etapas del proceso son: llenado del reactor, reacción (degradación aerobia de la materia orgánica, pudiendo alterar fases anaerobias y aerobias para eliminar nutrientes), sedimentación (se deja decantar el fango), vaciado (se retira el agua residual clarificada y se repite el ciclo), y fase inactiva.

Se emplea como **tratamiento secundario** de aguas residuales en poblaciones de entre 500 y 2.000 h-e. Requiere poca superficie, menos que la aireación prolongada ya que no tiene decantación secundaria.

La velocidad del proceso disminuye con las temperaturas bajas. Este tratamiento produce impacto paisajístico y no produce otros impactos importantes. Presenta flexibilidad ante variaciones de caudal o carga.

Los costes de implantación son algo menores que en el sistema de aireación prolongada, puesto que prescinde de decantador. Los de explotación son similares al sistema de aireación prolongada. Se requiere personal cualificado y atención continuada para las tareas de mantenimiento, limpieza y gestión de residuos.

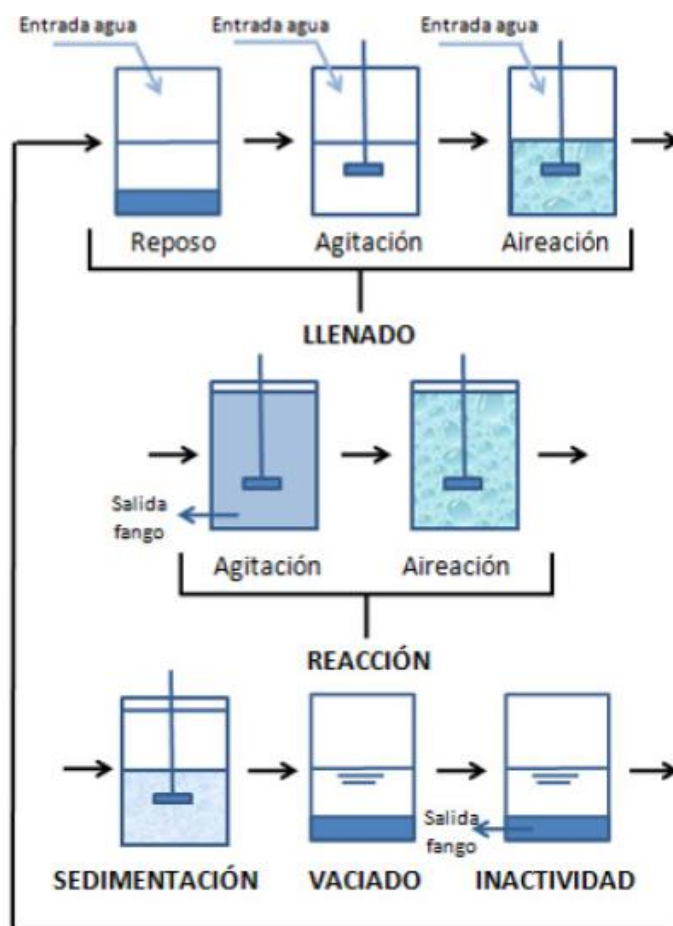


Figura 10. Esquema de reactores secuenciales. Fuente: Huertas, y otros, (2013).

- **Decantadores secundarios o tanques de sedimentación final:** decantan los precipitados producidos por tratamientos químicos de adición de floculantes. Suelen acompañar a los reactores biológicos en las EDAR. Buscan separar el agua tratada, de la biomasa que escapa con ella. El efluente de éstos es de color oscuro y es más limpio que el de los decantadores primarios. Los tiempos de retención son similares que los del decantador primario, pero las cargas superficiales y caudal unitario sobre vertedero son menores en éste. Se recomienda un tiempo de retención de 1-2 horas, una carga superficial de $0,5-2 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{h}$ y carga sobre vertedero de $2,5-9,5 \text{ m}^3/\text{h}/\text{ml}$.

B. Depuración basada en sistemas ecológicos

A continuación se detallan los principales sistemas empleados de depuración basada en sistemas ecológicos.

Hay una serie de **sistemas en desuso**, basados en sistemas de infiltración en el terreno.

- **Lechos filtrantes:** lecho térreo o no, por el que atraviesa agua residual, con más o menos carga orgánica.

Un tipo de lecho filtrante son los filtros intermitentes de arena: son lechos poco profundos, donde el agua circula verticalmente y de forma intermitente a través del lecho filtrante, una vez pretratada para evitar la colmatación del lecho. Sobre el lecho se

desarrolla una película bacteriana. Predominan los mecanismos de filtración, oxidación biológica y adsorción⁹⁴. No depuran propiamente, pero rebaja la materia orgánica y elimina partículas sólidas en el agua de salida. Este sistema de depuración puede utilizarse tanto como **tratamiento secundario como terciario**.

No es adecuado para poblaciones superiores a 1.000 h-e porque requiere una gran superficie, concretamente entre 4-9 m²/h-e para poblaciones entre 50 y 1.000 h-e.

Su rendimiento disminuye con las bajas temperaturas. Se integra bien con el entorno y casi no produce olores. Es sensible a sobrecargas, especialmente si las aguas están muy contaminadas.

Los costes de instalación varían entre 200-400 €/h-e y los de explotación entre los 15-45 €/h-e/año para poblaciones entre 50 y 1.000 h-e.

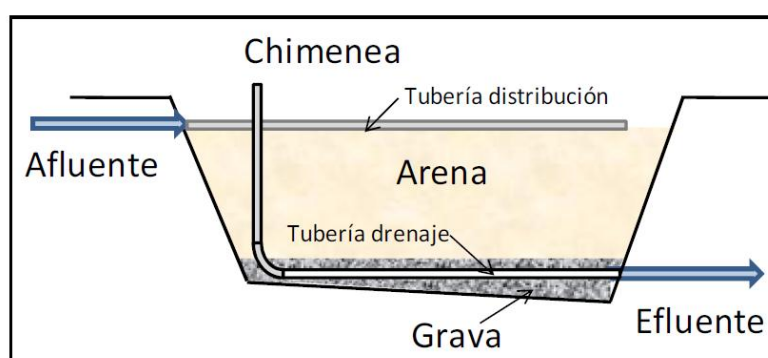


Figura 11. Esquema de filtro intermitente de arena. Fuente: Huertas, y otros, (2013).

○ **Infiltración percolación:**

En estos tratamientos el agua pasa a través de un medio granular que sirve de soporte para la fijación de bacterias, responsable de la degradación y eliminación de los contaminantes. Debe existir un pretratamiento del agua residual. No se aconseja en terrenos escarpados, con baja capacidad de infiltración, zonas de acuíferos o con niveles freáticos próximos a la superficie.

Un grupo de estos sistemas son los tratamientos de aguas residuales mediante aplicación superficial al terreno, basados en el empleo del suelo como elemento depurador, aprovechando su capacidad como medio filtrante para eliminar sólidos, y su actividad bacteriana para degradar la materia orgánica y eliminar otras sustancias.

Se pueden distinguir los siguientes tipos de sistemas de aplicación al terreno:

- **Zanjas filtrantes:** el agua residual, previamente tratada, se infiltra en el terreno a través de zanjas de arena, grava y tierra vegetal de pequeña profundidad y anchura inferior a 1 m. Este sistema suele emplearse para la evacuar efluentes ya depurados.

⁹⁴ Adsorción: fijación en la superficie de las partículas.

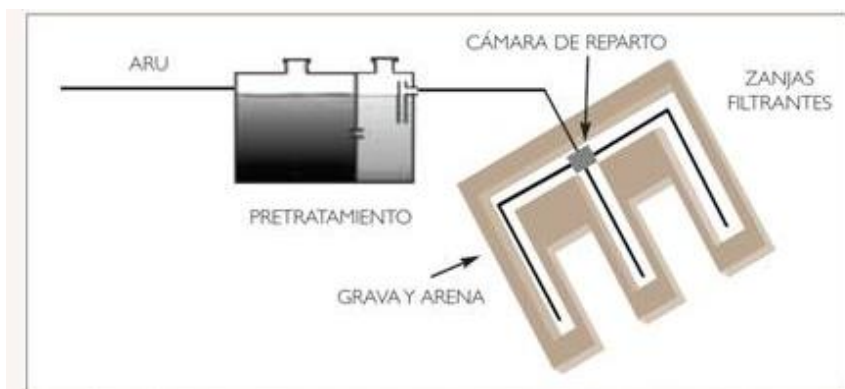


Figura 12. Sistema de infiltración- percolación del tipo zanjas filtrantes. Fuente: CENTA; Instituto Tecnológico de Canarias, (2006).

- **Filtros verdes:** se aplican en aguas residuales, previamente tratadas, mediante el riego de una superficie de terreno generalmente con vegetación, actuando el suelo y la rizosfera de las plantas como principales elementos depuradores. En ellos actúan tanto las plantas superiores como los microorganismos que favorecen la degradación de materia orgánica. Se emplean especies vegetales de crecimiento rápido, poco exigentes en mantenimiento, tolerantes al encharcamiento y con amplia capacidad para asimilar nutrientes. Estos son un tipo de fitosistema. Este sistema tiene como ventaja su bajo coste de instalación y que se integra bien paisajísticamente. Sin embargo, tiene muchas limitaciones, puesto que necesita mucho terreno, presenta riesgos sanitarios, favorece la presencia de moscas y mosquitos y puede generar algo de malos olores, favorece la retención de bacterias y virus en el suelo (no deben realizarse cultivos para consumo humano), puede contaminar acuíferos o cursos de agua próximos y se colmata con facilidad. El rendimiento de estos sistemas disminuye con bajas temperaturas y son muy sensibles a sobrecargas, por lo que no se recomiendan en zonas con elevada pluviometría.



Figura 13. Sistema de infiltración- percolación del tipo filtro verde. Fuente: CENTA; Instituto Tecnológico de Canarias, (2006).

Los principales tipos de filtros verdes son los siguientes:

- **Riego sobre superficies herbáceas:** las aguas se depuran al pasar a través del suelo y por la absorción de las plantas. Parte del agua se elimina a la atmósfera por evapotranspiración.
- **Escorrentía sobre cubierta vegetal:** utilizando sistemas fijos de aspersión el agua discurre pendiente abajo a través de la vegetación. La depuración se produce por sistemas físicos, químicos y biológicos y la realizan los vegetales por asimilación, así como la evapotranspiración, e infiltración al terreno.
- **Filtros verdes de especies leñosas:** este es el más frecuentemente empleado. Consiste en cultivar masas forestales con especies de crecimiento rápido, como chopos (*Populus* sp.) y sauces (*Salix* sp.), capaces de soportar el encharcamiento. Estas especies, además de favorecer la depuración de aguas residuales, permiten obtener rentabilidad de la producción de biomasa.

Es un sistema adecuado para poblaciones menores de 1.000 h-e, no empleándose en poblaciones superiores dada la gran superficie requerida. Los de tipo aplicación superficial al terreno son adecuados para poblaciones menores de 500 h-e y requieren entre 3-7 m²/h-e. Los sistemas generales de infiltración-percolación requieren entre 7-10 m²/h-e para poblaciones entre 50 y 1.000 h-e

Los costes de instalación varían entre 250-400 €/h-e y los de explotación son bajos y varían entre 15-40 €/h-e/año, en poblaciones entre 50-1.000 h-e para los sistemas genéricos de infiltración-percolación. El mantenimiento es sencillo.

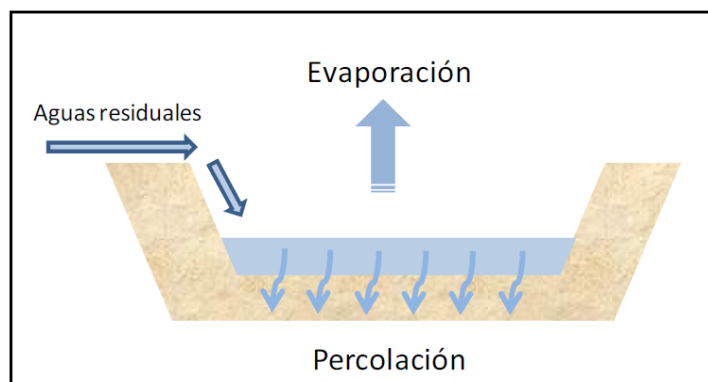


Figura 14. Sistema de infiltración- percolación. Fuente: Huertas, y otros, (2013).

Dentro de las técnicas basadas en sistemas ecológicos, o métodos extensivos están los **FITOSISTEMAS O TÉCNICAS DE FITODEPURACIÓN**.

Dentro de los fitosistemas los tipos usados tradicionalmente en núcleos rurales son:

- **Filtros verdes:** cuyas características se han expuesto dentro de los sistemas de infiltración-percolación.

- **Lagunajes o lagunas de estabilización:** consisten en realizar vertido de aguas residuales en varias lagunas conectadas en serie, en las que tiene lugar la depuración mediante procesos físicos, químicos y biológicos. Según las características de las lagunas, puede utilizarse tanto para **tratamiento primario como secundario y terciario**.

Se debe almacenar el agua a tratar en lagunas durante el tiempo necesario para que actúen los mecanismos de autodepuración de ésta. Así mismo, el tamaño y la profundidad de las lagunas condicionan la depuración. La temperatura influye mucho en el proceso, puesto que está ligada a la velocidad de los procesos naturales de autodepuración. El frío provoca una disminución en el rendimiento. El viento y la radiación solar favorecen los procesos.

Las lagunas pueden ser naturales, cuando se utilizan lagunas existentes en la naturaleza para efectuar el vertido, o artificiales, si se construyen para depurar aguas residuales.

En función de la profundidad de las lagunas podemos distinguir los siguientes tipos:

- Anaerobias (**tratamiento primario**): son profundas, entre 2,5-5 m como mínimo. Reciben alta carga orgánica que reducen mediante digestión anaerobia (en ausencia de oxígeno). Los flotantes y sedimentos se eliminan por decantación, al acumularse en el fondo, y se degradan lentamente. Funciona semejante a un tanque Imhoff o una fosa séptica. Tienen como inconveniente la generación de malos olores. Su rendimiento eliminando DBO₅ suele ser 55% y SS en un 85%.
- Facultativas (**tratamiento secundario**): profundidad entre 1,2-2,5 m. Su principal objetivo es eliminar la materia orgánica del agua, fundamentalmente por vía aerobia. La parte superior de la laguna es zona aerobia y la inferior anaerobia. Se busca depurar el agua, tanto en DBO como en nutrientes minerales y coliformes, mediante la acción combinada de las algas (generan oxígeno y se alimentan de minerales) y bacterias (oxidan materia orgánica generando CO₂, agua, nitratos, fosfatos y sulfatos). La DBO₅ llega a niveles aceptables de vertido (10-30 mg/l) y la eliminación de nitrógeno y fósforo es de un 40-90%.
- De maduración (**tratamiento terciario**): de escasa profundidad, entre 0,6 y 1,2 m. Reciben bajas cargas contaminantes. Su finalidad principal es afinar el vertido, clarificarlo (al sedimentar las algas y existir depredadores de algas), reducir los nutrientes, nitrificar el nitrógeno amoniacal procedente de la materia orgánica, y eliminar microorganismos patógenos mediante radiación solar, filtración y presencia de depredadores.

Las ventajas de las lagunas son su fácil y barato diseño y construcción y su bajo mantenimiento. Son idóneas para poblaciones donde el coste del suelo no es muy elevado, las cargas pueden fluctuar y hay escasez de personal cualificado, por lo que la inversión en costes de explotación del sistema debe ser baja. En cuanto a las desventajas está el requerir mucha superficie y la presencia de algas en el fluente (actúan como sólidos en suspensión produciendo turbidez, eliminan O₂ del agua receptora).

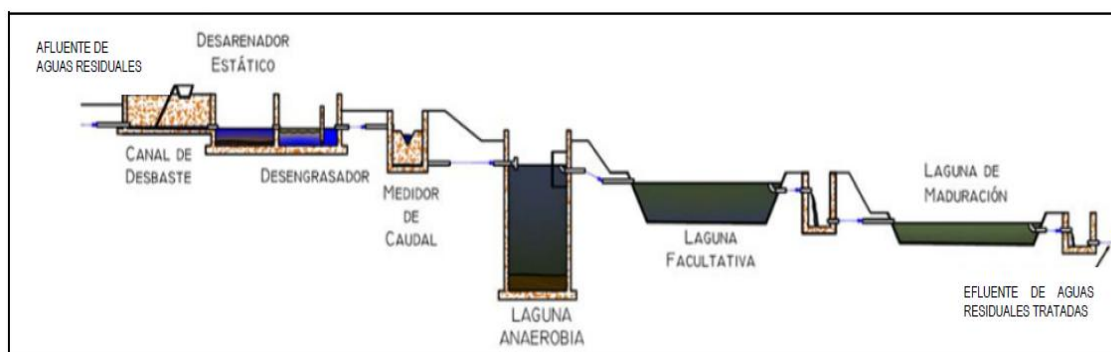


Figura 15. Esquema de un tratamiento de lagunaje. Fuente: Huertas, y otros, (2013).

Es un sistema óptimo hasta los 1.000 h-e. La superficie necesaria es de entre 7-13 m²/h-e para poblaciones entre 50 y 1.000 h-e. No suele emplearse para poblaciones superiores puesto que requeriría mucha superficie de terreno.

Si se diseñan y mantienen adecuadamente se logra una buena integración paisajística. Es importante limitar la carga contaminante y el contenido de sulfatos para evitar los malos olores. Se adapta bien a variaciones de caudal y carga, pero hay que vigilar de no sobrecargar su capacidad de depuración.

El coste de implantación es moderado, considerando pretratamiento, lagunas anaerobias, lagunas facultativas y de maduración, aproximadamente de 200 €/h-e para una población de 1.000 h-e. El coste de explotación es muy bajo, varía entre 8 y 34 €/h-e/año para poblaciones entre 100-1.000 h-e.

- **Humedales:**

Naturales

Artificiales o construidos

La figura 16 muestra los niveles de tratamiento alcanzados con los distintos sistemas de humedales artificiales.

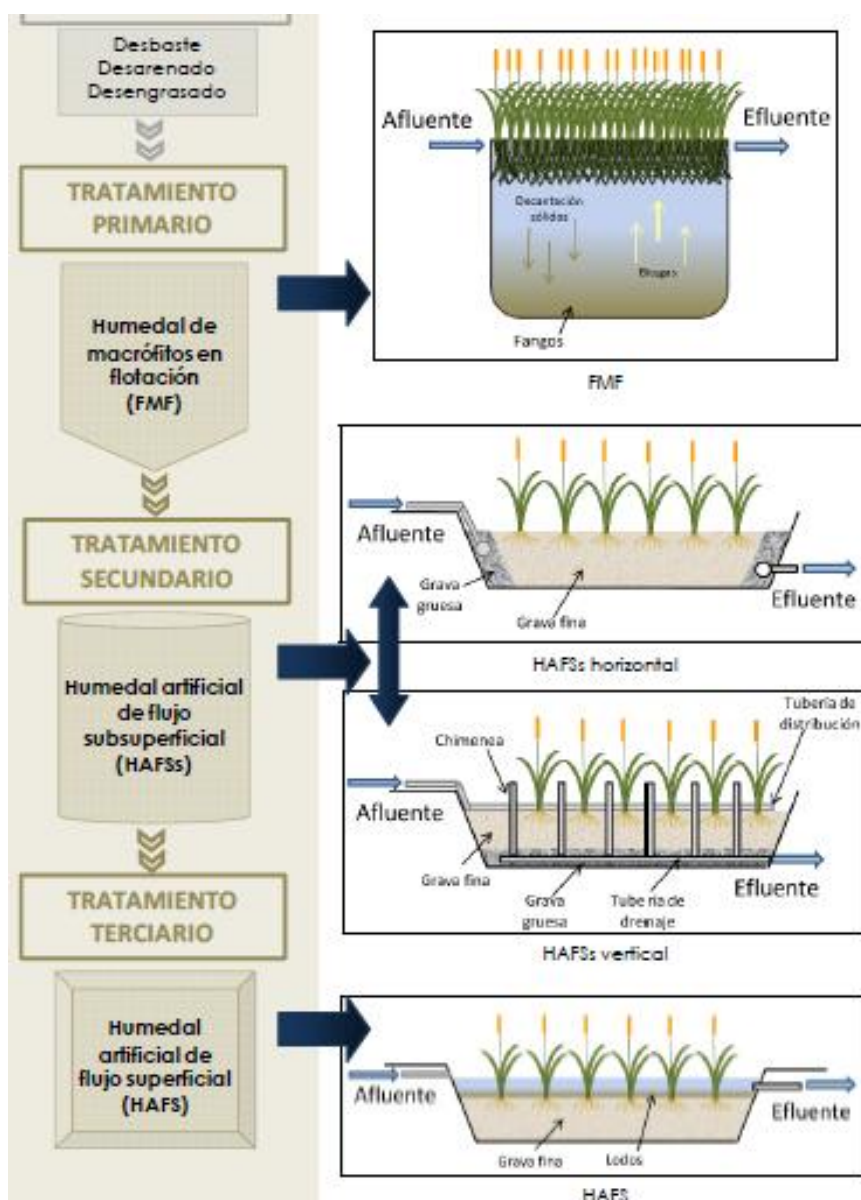


Figura 16. Niveles de tratamiento según el tipo de sistema de depuración empleado. Fuente: Huertas, y otros, (2013).

En cuanto a los mecanismos físicos de descontaminación se encuentra la filtración a través de medios porosos y de las raíces y la sedimentación de materia en suspensión (sólidos en suspensión). Los mecanismos químicos: son la precipitación de compuestos insolubles o coprecipitación con compuestos insolubles (N, P), la adsorción sobre el sustrato o por las plantas (N, P, metales), y la descomposición por fenómenos de radiación ultravioleta, oxidación y reducción (patógenos, metales). Los mecanismos biológico se deben al desarrollo bacteriano y permiten la degradación de la materia orgánica (DBO), la nitrificación en zona aerobia y la desnitrificación en zona anaerobia (N) (Dirección General del Medio ambiente de la Comisión Europea, 2001).

En general se emplea para poblaciones de menos de 2.000 h-e, puesto que para tamaños mayores requeriría mucha superficie. En una población de 1.000 h-e se requieren entre 3-5 m²/h-e, según el tipo de humedal o su combinación (Huertas, y otros, 2013).

En cuanto a los costes asociados a un tratamiento mediante humedales artificiales, los de instalación para una población de 1.000 h-e varían entre 200-300 €/h-e y los de explotación para una población de 1.000 h-e varían entre los 15-20 €/h-e/año.

Las clasificaciones de humedales artificiales se hacen en función de la presencia o no de una superficie libre de agua en contacto con la atmósfera, y en función de que las macrófitas emergentes se encuentren enraizadas en el fondo o libres en el agua.

La figura 17 muestra un esquema de los distintos tipos de humedales artificiales.

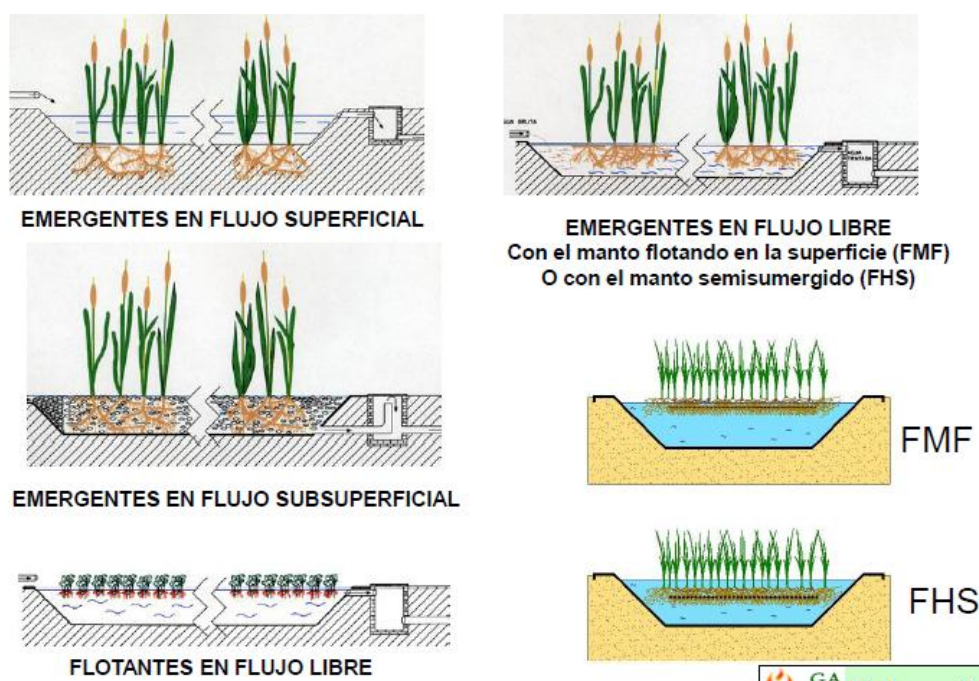


Figura 17. Sistemas de depuración con humedales artificiales. Fuente: Jesús Fernández, Foro de Debate: “La depuración del agua en Aragón”, Ainsa (2012).

A continuación se detallan los tipos de humedales artificiales en función del movimiento del agua y la vegetación, especificando sus características más relevantes.

- **Humedal artificial con plantas emergentes en flujo superficial (HAFS):** las plantas acuáticas están enraizadas en el fondo del humedal y el agua fluye por la superficie a través de las hojas y tallos de las plantas, donde se desarrolla una película bacteriana encargada de eliminar contaminantes. Es el sistema habitual en un arroyo donde crecen plantas. Son sistemas formados por uno o más canales, de poca profundidad, en general con un recubrimiento de fondo para prevenir la percolación del agua a la capa freática y así evitar su contaminación. Se emplean plantas vivaces, cuyas hojas se secan en invierno, rebrotando en primavera a partir de rizomas, como carrizos (*Phragmites* sp.), juncos (*Scirpus* sp.) o eneas (*Typha* sp.) (Fundación Global Nature. Universidad Politécnica de Madrid, 2005).

Se emplea principalmente como **tratamiento terciario**, al recibir efluentes que han pasado anteriormente por un tratamiento secundario (Huertas, y otros, 2013).

Entre las ventajas asociadas a este sistema está el permitir variaciones de caudal, tener un mantenimiento asociado bajo y no colmatarse fácilmente (Fernández González,

2005). Son sistemas con una ecología acuática compleja, permiten que habite fauna asociada al humedal. Pero ésta y otros vectores pueden provocar una disminución en la calidad del efluente, siendo un problema potencial la proliferación de mosquitos. Entre sus inconvenientes está su pequeña capacidad de depuración, ya que la mayor parte del agua fluye por arriba y las raíces tienen poca actividad. Según Fernández González (2005), se requiriere una superficie de $10 \text{ m}^2/\text{h-e}$ para depurar el agua. En algunos casos, el agua se pierde completamente por evapotranspiración y percolación en el humedal.

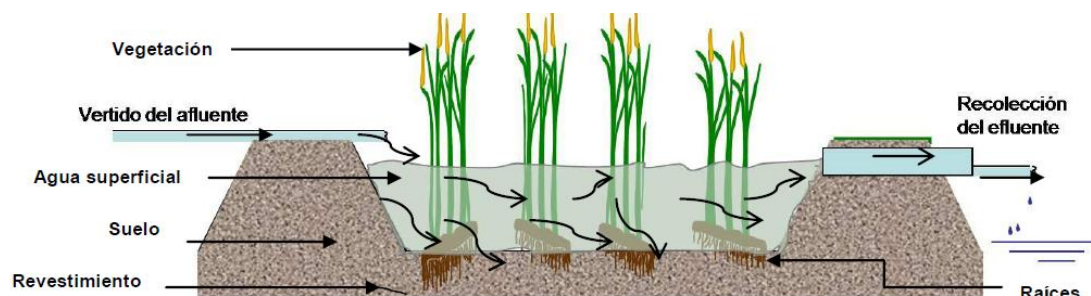


Figura 18. Humedal artificial de flujo superficial. Fuente: Estrada Gallego, (2010).

Estos humedales tienen mayoritariamente zonas aeróbicas que favorecen los mecanismos de remoción de contaminantes. La variación de la temperatura ambiental puede influir sustancialmente en la eficiencia de los procesos bioquímicos (Estrada Gallego, 2010), esta característica puede convertirlos en una alternativa poco adecuada para la zona del Pirineo aragonés. Los amplios requerimientos de terreno y los bajos costos tienden a favorecer la aplicación de esta tecnología en núcleos rurales de pocos h-e. Sin embargo, han sido muy utilizados en pequeñas y medianas comunidades de 5.000 a 50.000 habitantes, en Canadá y EEUU.

- **Humedales de plantas emergentes de flujo subsuperficial (HAFSS):** consisten en canales, donde la lámina de agua fluye por debajo de la superficie atravesando un lecho relleno de un sustrato poroso, arena o grava, donde crecen las plantas, que sólo tienen las raíces y rizomas en contacto con el agua. Su profundidad media está entre 0,3-0,9m.

El rendimiento depende del tipo de vegetación, el tiempo de retención, y la forma y dimensiones de los canales del humedal (Estrada Gallego, 2010). Para una depuración adecuada se requieren entre 3-14 días de tiempo de retención del agua residual. Según Fernández González (2005) estos sistemas requieren una superficie de $5-8 \text{ m}^2/\text{h-e}$.

Entre sus ventajas está el no desprender olores, tienen menos problemas de vectores, es más eficiente, requiere menos superficie de tierra y puede depurar efluentes con mayor carga orgánica que el sistema de flujo superficial. Su mantenimiento asociado es moderado. Los HAFSS son más eficaces en la remoción de metales que los HAFS (Estrada Gallego, 2010). Presenta las desventajas de posibilitar la creación de flujos preferenciales, tener un mayor coste asociado que los de flujo superficial (ya que es necesario poner un relleno) y sobre todo su rápida colmatación (ya sea por los rizomas o por los sólidos sedimentados, el flujo pasa a ser mayoritariamente superficial, disminuyendo la capacidad de depuración). Esta principal inconveniente puede combatirse dotándolos de más extensión o combinándolos con otros sistemas de depuración.

Son sistemas que se han extendido por todo el mundo y son especialmente indicados para pequeñas comunidades rurales. Se puede combinar con otros métodos de depuración, consiguiendo la eliminación complementaria de nutrientes. Se emplean principalmente como **tratamiento secundario**, precedidos por tratamientos primarios, como fosas sépticas, tanques Imhoff, o lagunas, que eliminan la mayor parte de sólidos sedimentables y sustancias que puedan provocar la colmatación del lecho (Huertas, y otros, 2013). En Europa, son los sistemas más empleados para tratar los efluentes de fosas sépticas (Estrada Gallego, 2010).

Los humedales de flujo subsuperficial se clasifican según el sentido de circulación del agua en horizontales o verticales. Ambos tipos pueden combinarse, y eliminar más eficientemente el nitrógeno al sucederse procesos de nitrificación y desnitrificación.

- **Humedal Artificial con plantas emergentes en Flujo Subsuperficial Horizontal**

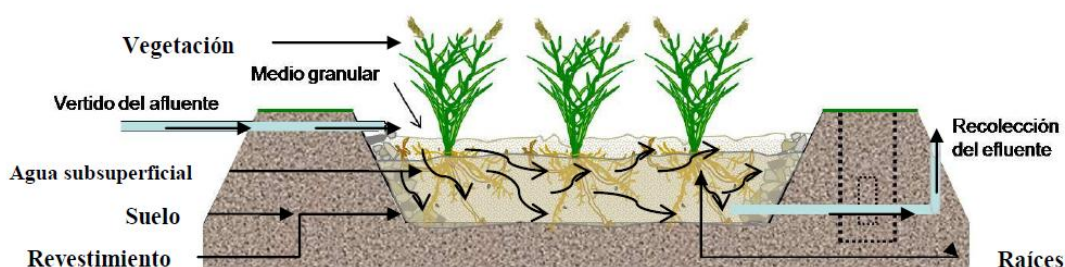


Figura 19. Humedal artificial de flujo subsuperficial horizontal. Fuente: Estrada Gallego, (2010).

En este tipo de sistemas el agua circula horizontalmente a través del medio granular, rizomas y raíces de las plantas. La profundidad del agua es de entre 0,3-0,9 m. La entrada de agua puede ser continua o intermitente. El nivel de agua se regula con una tubería manteniendo el lecho saturado de agua. El humedal se mantiene siempre inundado, lo cual genera efluentes con ausencia de oxígeno, y posibles malos olores.

- **Humedal Artificial con plantas emergentes en Flujo Subsuperficial Vertical**

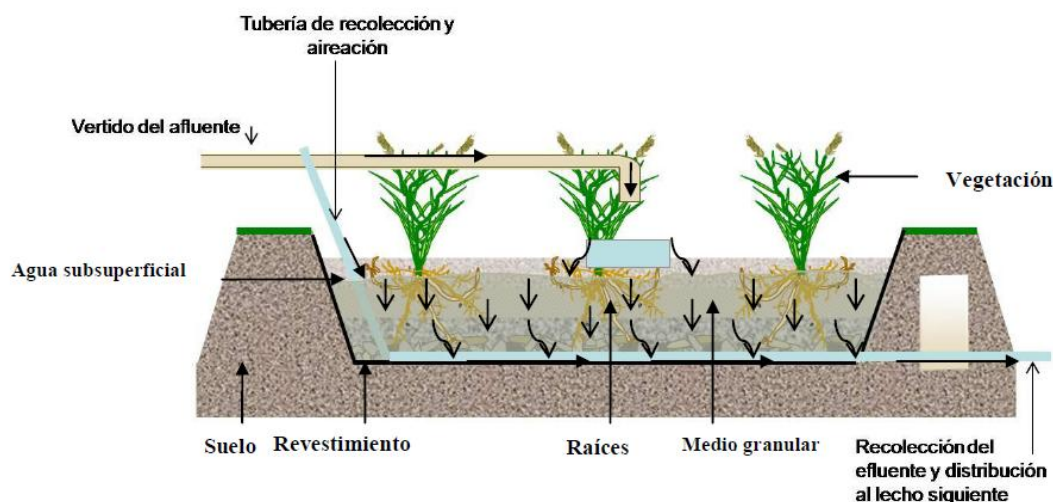


Figura 20. Humedal artificial de flujo subsuperficial vertical. Fuente: Estrada Gallego, (2010)..

En éste el agua circula en sentido vertical a través del lecho y de manera intermitente mediante descargas controladas. El medio granular, con una profundidad de entre 0,5-0,8 m, no está permanentemente inundado. El humedal se airea fundamentalmente por al circular el agua en sentido descendente. Entre sus ventajas está el tener mayor capacidad de tratamiento (requieren de menor superficie para tratar una determinada carga orgánica) y producir efluentes de mayor oxigenación que los de flujo subsuperficial horizontal y no generan malos olores. Presenta el inconveniente de ser más susceptibles a la colmatación que los de flujo subsuperficial horizontal, ser más difíciles y caros de operar (Estrada Gallego, 2010).

- **Humedal Artificial con plantas flotantes en flujo libre**

Se construyen estanques o canales con profundidad entre 0,4 y 1,5 m, en los que se desarrollan especies que son flotantes de forma natural, como el jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*) y la lenteja de agua (*Lemna* spp.), que depuran las aguas residuales. Tienen la ventaja de presentar una gran superficie de contacto entre sus raíces y el agua residual. Presentan el inconveniente de crecer muy rápido, por lo que deben retirarse constantemente, pero no alcanzan un gran tamaño, por lo que su producción de biomasa es limitada y esto reduce su valor depurativo absoluto, a pesar de absorber grandes cantidades de nitrógeno y fósforo. Son especialmente indicadas para bajas concentraciones de materia orgánica y de sólidos en suspensión (Fundación Global Nature. Universidad Politécnica de Madrid, 2005).

- **Humedal Artificial con plantas emergentes en flujo libre**

Este sistema utiliza plantas de tipo emergente, que de forma natural se encuentran enraizadas en el terreno, pero que aquí se transforman artificialmente en flotantes, formando un filtro verde de macrófitas en flotación. Este sistema de humedal artificial ha sido desarrollado por el Grupo de Agroenergética del Departamento de Producción Vegetal de la Universidad Politécnica de Madrid (Fernández González, 2005). El sistema combina las ventajas de los sistemas flotantes y elimina los inconvenientes de los filtros de plantas emergentes que enraízan en el terreno. Presentan la ventaja de tener siempre el sistema radicular bañado o sumergido en el agua sin posibilidad de colmatación, y al utilizar plantas macrófitas de gran porte, pueden producir durante un largo tiempo una gran cantidad de biomasa, sin necesidad de cosecharla.

Los sistemas de humedales artificiales de flujo libre presentan una serie de ventajas frente a los enraizados en el fondo:

- Mantiene en el tiempo el poder de depuración
- Aportan mucha superficie de soporte para los microorganismos y no se colmata
- Economía en construcción, puesto que no hay gasto en grava
- Bajo coste de mantenimiento
- Facilidad para la recolección de la biomasa

Se busca que las plantas formen un tapiz continuo, al echar raíces y rizomas y tallos, que de estabilidad e impida el vuelco. Hacer flotar a estas plantas no es costoso, puesto que son huecas y con densidad menor a la unidad (tomando de media un valor de 0,6), basta colocar un soporte en pie o soporte para mantener erguido y flotando a las

helófitas. El tapiz flotante de macrófitas emergentes puede conseguirse de las siguientes maneras:

- Plantación en tentetiesos flotantes, con el centro de gravedad desplazado a la parte baja.
- Plantación directa sobre un soporte lineal. Pero en general las plantas siguen volcando.
- Plantación en la solera del canal con bajo nivel de agua y cuando el tapiz se forma se hacen flotar al aumentar el nivel de agua. Este método es el empleado en el sistema FHS.

Existen dos tipos:

- **Filtro de macrófitas en flotación (FMF):** las plantas flotan en la superficie del humedal gracias a una estructura artificial. Al estar el tapiz en superficie se airean las raíces, pero se pierde la aireación procedente de la superficie del agua. Las raíces deben tener la mayor parte de su superficie en contacto con el agua y la zona sumergida de hojas y tallos debe ser mínima para aportar el máximo de oxígeno a las raíces. Puede actuar como **tratamiento primario o secundario**, en función de la profundidad del humedal. Según la Fundación Global Nature de la UPM (2005), el sistema puede realizar un **tratamiento terciario** de efluentes procedentes de sistemas de depuración convencionales, eliminando elementos como el nitrógeno y el fósforo que pueden provocar la eutrofización de las masas de agua a las que se vierten. En humedales profundos predomina la decantación y digestión (la fracción sólida sedimentables decanta), mientras en los poco profundos predomina la degradación aerobia de la materia orgánica. El FMF resuelve el problema de la colmatación. El sistema es válido para tratar vertidos industriales puesto que ciertas especies de plantas emergentes pueden absorber importantes cantidades de metales pesados o descomponer fenoles (Fundación Global Nature. Universidad Politécnica de Madrid, 2005).
- **Filtro de macrófitas semisumergido (FHS):** las plantas flotan a cierta profundidad, gracias a lastrar el tapiz desarrollado sobre estructuras artificiales. Este sistema aprovecha las dos vías de intercambio de oxígeno, puesto que existe lámina de agua en superficie y las raíces de las plantas estén completamente en contacto con el agua.

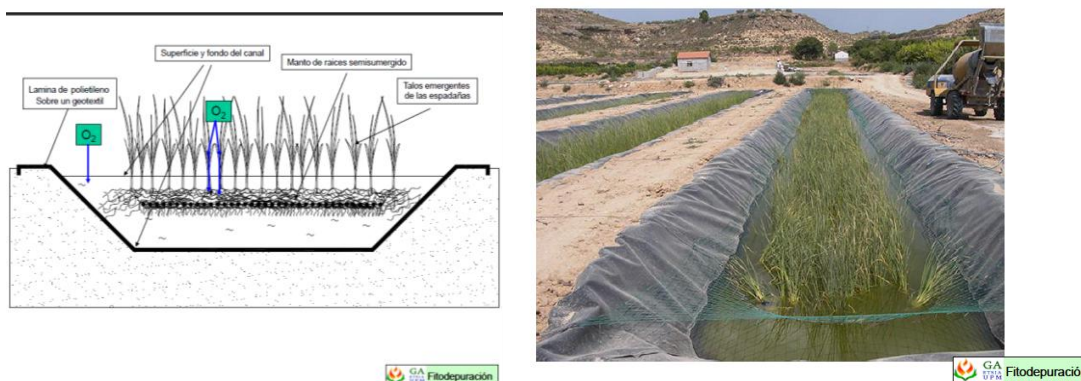


Figura 21. Izquierda: Filtro de macrófitas semisumergido (FHS). Derecha: FHF en el municipio de Fabara. Fuente: Jesús Fernández, Foro de Debate: “La depuración del agua en Aragón”, Aínsa (2012).

El sistema FHS supone una serie de ventajas sobre el FMF:

- Mayor aporte de oxígeno al agua, que se traduce en una mayor eficiencia en la depuración. La oxigenación de las raíces se produce con aire que proporcionan las plantas y con el que se intercambia entre la atmosfera y la superficie del agua.
- Facilidad en la implantación y formación del tapiz vegetal, que se realiza sobre el suelo del canal sin agua.
- Mayor cantidad de sustrato arcilloso para eliminación de fósforo.

TRATAMIENTO TERCIARIO, DE AFINO O DE ACABADO

7. ANEXO VII. ESPECIES VEGETALES UTILIZADAS EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

Se presentan las características más relevantes de las principales especies vegetales utilizadas en el tratamiento de aguas residuales siguiendo las consideraciones de Fernández González (2005).

MACRÓFITAS EMERGENTES

- Enea (*Typha* spp.)

Son plantas acuáticas helófitas emergentes, herbáceas perennes de hasta 3m de altura. Se consideran perennes porque poseen un sistema radicular rizomatoso perenne, pero su ciclo de desarrollo es anual. Sus largas hojas se agrupan densamente y tienen muchos canales aeríferos. Gracias a su meristemo basal no se interrumpe su crecimiento si se cortan las hojas en el periodo vegetativo, práctica recomendable en el manejo de los humedales artificiales. Debe cosecharse periódicamente, cuando las plantas estén en reposo, para renovar la colonia y eliminar la carga contaminante. Se pueden implantar a partir de plántulas o mediante rizomas. La planta coloniza el humedal formando densas colonias.

Son resistentes y tienen escasos efectos negativos por inundación, plagas o enfermedades. Las plántulas pueden morir por heladas y por mantener una altura de agua no tolerada. Son helófitas de climas templados o templado-fríos con estaciones, desarrollándose entre 10-30 °C. En España hay 3 especies, con distinto grado de tolerancia a la contaminación. *T.angustifolia* (es menos robusta, no suele sobrepasar los 2m de altura) es poco frecuente en España porque su área de distribución natural es de temperaturas más frescas. *T.domingensis* (es mucho más robusta y puede alcanzar más de 3m de altura) y *T.angustifolia* (planta robusta, de más de 2 m de altura) aguantan mejora la baja calidad de las aguas que *T.latifolia*, mientras que si la contaminación es escasa *T.latifolia* compite frente a las otras especies.

Las eneas se aplican para depurar aguas residuales domésticas, en sistemas de flujo superficial, flujo subsuperficial y en sistemas acuáticos en flotación inducida. Son más eficaces en la depuración de aguas, en comparación con otras especies como *Scripus validus*, *Juncus effusus*, etc. Tiene una alta productividad, 13 kg / m² y año. La extracción depende de los contenidos en nutrientes, que pueden llegar a 180gN/m² y 27gP/m². En climas templados pueden emplearse en tratamiento secundario (remoción de materia orgánica) o terciario (remoción de N y P).

- Carrizo (*Phragmites australis*)

Planta acuática, de la familia de las gramíneas. Morfológicamente recuerda a la caña común, *Arundo donax*, pero el carrizo es helófito acuático. Es herbácea perenne, gracias al carácter perenne de sus rizomas, aunque su ciclo de desarrollo es anual como en las eneas. Es muy robusta y rústica (poco susceptible a plagas y enfermedades). Puede alcanzar 3 m de altura, de hojas estrechas, enteras y largas. Su productividad es superior a 50 t /ha y año.

Crece en zonas inundadas con el sistema radicular arraigado en el fondo del humedal y desarrolla estructura vegetativa emergente por encima de la lámina de agua. Tiene según algunos la mayor distribución a nivel mundial. Se propaga vegetativamente por los rizomas. Puede vivir en medios muy alterados, desplazando a otras especies, pudiendo llegar a considerarse invasora.

Se utiliza en humedales artificiales de flujo superficial y subsuperficial. En el sistema de flujo superficial tiene la ventaja frente a las eneas de que sus rizomas alcanzan más profundidad por lo que tiene mayor efecto oxigenador.

- **Junco (*Scirpus* spp.)**

Este género son plantas cespitosas, con flores pequeñas, y comprende especie herbáceas, perennes (rizomatosas) o anuales. Son plantas de clima templado, con temperaturas entre 16-27 °C, de ambientes soleados. Hay literatura que indica que *S.validus* es más eficiente en la remoción de N y P que *T. latifolia* (Enea). Su productividad es baja en relación con las eneas o los carrizos, 5-12 t ms/ha/año.

En el tratamiento de aguas residuales destacan las siguientes especies de juncos:

- ***S. lacustris* (junco de laguna):** natural en España. Acuática helófito, perenne, rizomatosa. Sus tallos son simples y erectos, alcanza hasta 3 m de altura.
- ***S.holoschoenus* (junco de bolas o churrero):** natural en España. Perenne, rizomatosa, terrestre, de zonas encharcadas, robusta, de hasta 2 m de altura. Morfología similar a los verdaderos juncos.
- ***S.validus* (americana)= *Schoenoplectus tabernaemontani* (europea).** Crece en suelos saturados, zonas pantanosas y cursos de agua.
- ***S.maritimus*:** natural de marismas salinas de España, indicada para humedales artificiales.

Suelen implantarse por división de mata, que es el método más rápido, también pueden propagarse por semilla. Conviene cosechar la parte aérea de la planta para reducir el reciclado de nutrientes del sistema.

Son muy empleados en humedales artificiales de flujo subsuperficial, ya que toleran de manera limitada la inundación permanente cuando la capa de agua es profunda.

PLANTAS FLOTANTES

- **Jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*)**

Planta acuática flotante no enraizada, herbácea perenne muy común en ambientes acuáticos de climas tropicales, de crecimiento rápido y alta productividad (hasta 100 t ms/ha y año). Puede ser invasiva. Tiene flores azuladas, alcanza 50 cm de altura, tiene las raíces sumergidas muy densas y de hasta 3 m de longitud. Se reproduce vegetativamente por estolones, creando una densa cubierta vegetal al extenderse longitudinalmente, pero también puede reproducirse por semilla. En climas tropicales tienen gran adaptabilidad ecológica, se desarrolla bien en humedales, aguas contaminadas, lagos y ríos. Tolera fluctuaciones de caudal y carga contaminante. Su

principal factor limitante es la temperatura, siendo idóneo 20-30 °C, por debajo de -6°C muere. Son muy rústicas frente a accidentes, plagas y enfermedades. Debe cosecharse periódicamente, cada 3-4 semanas en climas cálidos, para eliminar los nutrientes que han captado y romper la cobertura total de la lámina de agua y así permitir su oxigenación.

Se utiliza en sistemas acuáticos de tratamiento de aguas residuales domésticas de climas cálidos. Es eficaz eliminando SS y controla el desarrollo de algas en lagunas de oxidación. En tratamientos secundarios no aireados la carga típica de DBO₅ es 40-80 kg/ha/día y puede emplearse en tratamiento terciario para eliminar N y P.

- **Lentejas de agua (*Lemna* spp.)**

Son plantas acuáticas herbáceas flotantes no enraizadas, de muy pequeño tamaño, algunas de 1 mm. Se distribuyen en casi todos los ambientes acuáticos, crecen en aguas eutrofizadas y con contaminación orgánica. Son sensibles al viento y las heladas, reduciendo su eficacia depuradora a partir de 1-3°C. Se reproducen vegetativamente, y son rápidas colonizadoras en condiciones favorables.

En general, se emplean en lagunas facultativas, permitiendo reducir la concentración de algas. Eliminan nutrientes (N y P), y tiene alta productividad en biomasa. Periódicamente debe cosecharse parcialmente la población, y así eliminar los nutrientes extraídos por las plantas.

8. ANEXO VIII. RECOMENDACIONES PARA DISEÑAR Y MANTENER UN HUMEDAL ARTIFICIAL

En general, un sitio adecuado para ubicar un humedal artificial es en la fuente de las aguas residuales, en una zona de pendiente suave, con suelo que pueda compactarse para reducir al mínimo las filtraciones. Debe estar por encima del nivel freático y no debe tener impacto negativo en la flora, fauna, ni en el ecosistemas en general (Department of Natural Resources. Georgia Environmental Protection Division, 2002).

La topografía del lugar puede condicionar la superficie disponible para construir las células humedales. Para lograr mayor flexibilidad en el sistema, el humedal puede diseñarse como un conjunto de células en las que se pueda ajustar el nivel del agua, permitiendo maximizar la eficiencia del tratamiento (Department of Natural Resources. Georgia Environmental Protection Division, 2002).

El diseño de estos humedales puede hacerse en base a las siguientes pautas:

- Construcción de balsas grandes. Tienen la ventaja de ocupar menos espacio, pues no se pierde espacio en los pasillos, y el inconveniente de no depurar tan adecuadamente, puesto que el agua puede tomar caminos preferenciales.
- Construcción en sistema de flujo en canales: es más adecuado que el anterior puesto que se obliga al agua a seguir un circuito por uno o varios canales, pero se pierde el espacio entre pasillos.

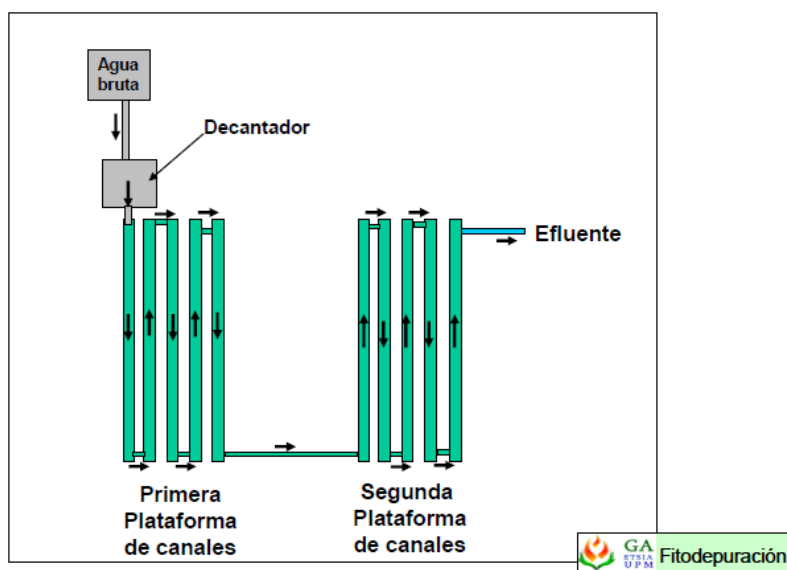


Figura 22. Esquema general del funcionamiento del sistema de flujo en canales.
Fuente: Jesús Fernández, Foro de Debate: “La depuración del agua en Aragón”, Aínsa (2012).

La plantas helófitas deben elegirse considerando su nivel de tolerancia a elevadas concentraciones de contaminantes, su capacidad para conducir agua, su resistencia a enfermedades, su adaptación a la climatología local, crecimiento y demanda de nutrientes, profundidad del agua y frecuencia de las inundaciones. (Torres Junco).

El relleno sirve de barrera de tamizado, de soporte a las plantas y como superficie para el desarrollo de microorganismos. La necesidad de colocarlo depende de las características del suelo, siendo en general necesario en suelos porosos y bien drenados, como la arena, e innecesario en suelos de drenaje pobre, principalmente de arcillas.

La estacionalidad influye de manera importante en la actividad depuradora de las helófitas (Macrófitas flotantes en el tratamiento de aguas residuales: una revisión del estado del arte, 2012). Según Huertas y otros (2013), la temperatura influye en la depuración puesto que está íntimamente ligada con la velocidad de los procesos naturales de autodepuración, pudiéndose reducir el rendimiento en periodos fríos, sobre todo en HAFS. En general el tiempo de retención del agua en el humedal aumenta en invierno, cuando la actividad biológica disminuye (Department of Natural Resources. Georgia Environmental Protection Division, 2002). Cierta bibliografía, como (Fundación Global Nature. Universidad Politécnica de Madrid, 2005) indica que en las regiones más frías debe instalarse un invernadero para mantener su funcionamiento en los meses invernales, con el consiguiente incremento de coste. Otras alternativas, como el acolchado, permiten construir depuradoras más protegidas de las inclemencias del tiempo. Es preciso saber que a pesar de que ciertas plantas se sequen, el oxígeno sigue fluyendo de la atmósfera al agua, aunque la eficiencia en la depuración se reduce.

Es muy importante definir pautas correctas de mantenimiento, siendo necesario:

- Controlar el caudal entrante, y las tasas de carga del efluente depurado.
- Comprobar los valores del vertido.
- Eliminar especies no deseadas.
- Reponer las plantas que mueran. Las raíces deben ser blancas, puesto que si están negras evidencian falta de oxígeno. Una parte importante de la vegetación puede morir durante los primeros años de operación, por lo que se recomienda incluir los reemplazos de plantas dentro de los gastos de operación y mantenimiento. Mantener una profundidad adecuada del agua mejora las posibilidades de supervivencia vegetativa.
- Cosecha de biomasa: según ciertos autores no conviene a no ser que se acumule biomasa muerta que dificulte el flujo de agua y consideran además que la parte muerta, tiene las cámaras abiertas y por ellas puede circular aire hacia los estomas, que las plantas abren y cierran permitiendo circular agua y oxígeno hacia las raíces. Según Fernández González (2005), se debe cosechar periódicamente, cuando las plantas estén en reposo, para renovar la colonia y eliminar la carga contaminante. En todo caso, no es conveniente cosechar hasta que las plantas alcancen suficiente densidad como para colonizado plenamente el humedal, esto puede tardar 1-2 años, puesto que los microorganismos depuradores se alimentan gracias al sistema radicular de las helófitas. Es importante potenciar la valorización de la biomasa resultante del proceso, pudiéndose emplear como fertilizante, compost, biocombustible o forraje si las aguas no contienen metales pesados (Macrófitas flotantes en el tratamiento de aguas residuales: una revisión del estado del arte, 2012).

9. ANEXO IX. COMPARATIVA DE MÉTODOS DE SANEAMIENTO

Se expone una tabla que compara el sistema de depuración de tipo humedal artificial de flujo superficial y de flujo subsuperficial.

Tabla 1. Comparativa entre el sistema de depuración de tipo humedal artificial de flujo superficial y de flujo subsuperficial. Fuente: elaboración propia con datos de Estrada Gallego, (2010).

EDAR basadas en humedales construidos		
Parámetros	HAFS	HAFSS
Caudal	Adecuado para caudales > 227,200 l/d	Adecuado para caudales < 227,200 l/d
Nivel de tratamiento	Puede ser tratamiento secundario todo el año, a excepción de los climas más fríos. Puede ser tratamiento terciario todo el año en climas cálidos o semicálidos	Puede ser tratamiento secundario todo el año, a excepción de los climas más fríos. Puede ser tratamiento terciario todo el año en climas cálidos o semicálidos
Remoción de contaminantes	Muy efectivos en la remoción de DBO, SST, DQO, metales y compuestos orgánicos con un tiempo razonable de retención. La remoción de N y P puede ser efectiva con un tiempo de retención mayor. En climas fríos las bajas temperaturas reducen la tasa de remoción de DBO, esto puede compensarse aumentando tiempo de retención	Muy efectivos en la remoción de DBO, SST, DQO, metales y algunos compuestos orgánicos. Pueden remover N y P a bajos niveles pero requiere un tiempo de retención mayor. La mayoría del agua es anóxica, limitando el potencial de nitrificación del amoníaco. La actividad de microorganismos es mayor que en los HAFS. Son más eficaces en la remoción de metales pesados. Protegen a la vegetación de factores externos como bajadas de temperatura que puede reducir la actividad de los microorganismos
Producción de fangos	No producen biosólidos ni lodos residuales	Son muy susceptibles de colmatarse si el agua muchos contaminantes, como grasas o aceites
Superficie requerida	Pueden requerir grandes superficies, especialmente si se requiere la remoción de N o P	Puede tener menor superficie que un HAFS
Insectos	Pueden ser un problema como vectores de enfermedades	No son un problema si se opera adecuadamente
Malos olores	Pueden existir	No existen
Aislamiento	No están aislados de animales y humanos	Están aislados, eliminando el riesgo de exposición a agua parcialmente tratada y a la transmisión de patógenos
Costes de construcción y operación	Menores	Mayores

