



Escola Tècnica Superior d'Enginyers
de Camins, Canals i Ports de Barcelona

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

TESI DE MASTER

Máster

Ingeniería Ambiental

Título

**Viabilidad Económica del uso de agua del Sistema de
Regeneración y Reutilización Agua para el riego agrícola en el
Parc Agrari del Baix Llobregat**

Autor

Luis Manuel Bravo Guajardo

Tutor

Oscar Alfranca Burriel

Luis Seguí Amórtégui

Intensificación

Fecha

Julio del 2012

Resumen

El AMB supervisa el tratamiento de aguas residuales y la distribución, de agua potable y agua regenerada. Cuenta con un total de 7 plantas de tratamiento (EDAR) para el procesamiento de todas las aguas residuales en la región en virtud de las normas europeas de calidad del efluente. Tres de ellas cuentan con una Estación de Regeneración de Agua (ERA). La más grande es la de El Prat de Llobregat (SRRAR Depurbaix), con una capacidad instalada de 100 hm³/año de agua regenerada para usos múltiples y que representa un componente esencial de la gestión del ciclo del agua dentro de los límites metropolitanos de Barcelona.

El objetivo principal del trabajo es evaluar la factibilidad técnico-económica del sistema de regeneración y reutilización de agua residual urbana del Baix Llobregat para utilizarla en el riego agrícola del Parc Agrari, tomando en cuenta aspectos regulatorios, económicos, sociales, tecnológicos y ambientales de la construcción y explotación de dicho sistema.

Se identifican los costes privados de explotación y mantenimiento del SRRAR Depurbaix. Se analizan las externalidades ambientales y mediante herramientas de evaluación económica indirectas se valoran en la medida de lo posible. La evaluación económica se realiza a través de un análisis Coste-Beneficio desde el punto de vista social, donde se integran los costes privados y externalidades, con el fin de maximizar el beneficio total.

El estudio arrojan como principal resultado que el precio mínimo de venta del agua regenerada, necesario para recuperar todos los coste de producir 50 hm³/año de agua regenerada, es de 0,1897 €/m³. Este valor permite que la inversión realizada sea rentable según los criterios del valor actual neto (VAN), suponiendo que se cobra a todos los usuarios del agua regenerada.

Sin embargo, considerando que los agricultores del Parc Agrari no están dispuestos a pagar un valor mayor del que pagan en estos momentos por el canon de regulación, se calcula un nuevo precio mínimo, de tal manera que 11,8 hm³ destinados al riego agrícola mantiene el precio de 0,00179€/m³ y el resto se le debe aplicar una tarifa de 0,2693 €/m³. Los beneficios totales, incluyendo los privados y las externalidades positivas, es de 21,05 M€ anuales. Los costes, incluyendo los privados y las externalidades negativas, son de 9,89 M€ anuales. Lo que representa un beneficio total anual de 11,15 M€.

Palabras clave: Reutilización de aguas regeneradas, riego agrícola, externalidades, precio mínimo de venta, análisis técnico-económico

Abstract

The Metropolitan Area of Barcelona oversees the wastewater treatment and distribution, water and reclaimed water. There are a total of 7 treatment plants (WWTP) to process all the wastewater in the region under European standards of effluent quality. Three of them have a water reclamation plants (WRP). The largest is the Depurbaix WRP with an installed capacity of 100 hm³/year of reclaimed water for multiple uses and is an essential component for managing the water cycle within the Barcelona metropolitan.

The main objective is to evaluate the technical and economic feasibility of the regeneration system and reuse of urban wastewater for use in Baix Llobregat Agricultural irrigation Parc Agrari, taking into account regulatory, economic, social, technological and environmental construction and operation of the system.

Identify the private costs of operating and maintaining the Depurbaix WRP. It discusses the environmental externalities and through indirect economic evaluation tools are valued at as much as possible. Economic evaluation is done through Cost-benefit analysis from the social point of view, integrating the private costs and externalities, in order to maximize the total profit.

The main outcome study show that the minimum selling price of reclaimed water needed to recover all the cost of producing 50 hm³/year of reclaimed water, is 0.1897 €/m³. This value allows the investment to be profitable according to the criteria of Net Present Value (NPV), assuming that is charged to all users of reclaimed water.

However, considering that farmers in the PARC Agrari are not willing to pay a higher value of paying right now for the fee adjustment, calculate a new minimum price, so that 11.8 hm³ for irrigation agriculture remains the price of 0.00179 €/m³ and the remainder will be applied a fee of 0.2693 €/m³. The total benefits, including private and positive externalities, is 21.05 M€ per year. The costs, including private and negative externalities are of 9.89 M€ per year. This represents a total annual profit of 11.15 M€.

Keywords: Reuse of reclaimed water, agricultural irrigation, externalities, minimum selling price, technical and economic analysis

Índice

Capítulo 1 Introducción	12
Capítulo 2 Objetivos	15
Capítulo 3 Modelo de gestión del agua en la cuenca del Baix Llobregat	17
Red de abastecimiento de agua	18
Sistema de Saneamiento	23
Regeneración de agua	27
Capítulo 4 Tratamiento y caracterización del agua residual municipal regenerada	31
Estación Depuradora de Aguas Residuales (EDAR)	33
Línea aguas	34
Línea de fangos	36
Estación Regeneradora de Aguas (ERA)	38
Regeneración básica	38
Regeneración avanzada	41
Capítulo 5 Criterios de calidad del agua regenerada y calidad de agua de riego	44
Criterios de calidad de agua regenerada según sus usos	46
Criterios de calidad para agua de riego	47
Identificación y análisis de impactos	49
Impactos asociados al sistema de depuración y regeneración de agua	49
Impactos asociados al uso de agua regenerada para riego agrícola	51
Capítulo 6 Caracterización de la zona de riego, consumo y gestión de cultivos	55
Descripción del Parque Agrario del Baix Llobregat	55
Instituciones y entidades que forman el consorcio	57
Diputación de Barcelona	57
Consejo Comarcal del Baix Llobregat	57
Generalitat de Catalunya	57
Unió de Pagesos de Catalunya	58
Ayuntamientos	58
El espacio agrario	59
Los cultivos más habituales	61
Actividades económicas	63
Estructura productiva y empresarial	63
El PIB del sector primario	64
Capítulo 7 Aspectos económicos del riego con agua residual municipal regenerada	66
Metodología de análisis costo-beneficio	67

Definición del ámbito de estudio	68
Los Impactos del proyecto	70
Identificación de los agentes implicados	74
Estudio de las necesidades financieras	74
Agregación de los costes e ingresos	74
Beneficio total	80
Análisis de sensibilidad	81
Capítulo 8 Conclusiones y Recomendaciones	83
Bibliografía	85
Anexos	88
Anexos I Criterios de calidad para la reutilización de las aguas regeneradas según los usos (RD 1620/2007)	88
Anexo II Metodología de análisis técnico-económico de los SRRAR	92
Esquema de los pasos a seguir para la aplicación de la metodología	92
Los Impactos del proyecto	93
Valoración de los impactos	93

Índice de figuras

Figura 3.1 Red de suministro de agua (AMB-EMA)	22
Figura 3.2 Fuentes de suministro de agua del AMB (AMB-EMA)	23
Figura 3.3 Red de saneamiento de agua del AMB (EMA-AMB)	24
Figura 3.4 Mapa de ERA de la AMB (PRAC, 2009)	28
Figura 4.1 Ubicación de la Depuradora Baix Llobregat (AMB, 2012)	31
Figura 4.2 Sistema de saneamiento de Depurbaix. (AMB, 2012)	32
Figura 4.3 Proceso de depuración y regeneración de aguas residuales (Depurbaix SA)	33
Figura 4.4 Diagrama de bloque del tratamiento agua residual	34
Figura 4.5 Diagrama de proceso de la línea de fangos	36
Figura 4.6 Diagrama de proceso de la de regeneración en la ERA.	38
Figura 5.1 Porcentajes de reutilización de aguas por usos al año 2008 (PRAC 2009)	44
Figura 5.2 Proyección de porcentajes de reutilización de aguas por usos para el año 2015 (PRAC 2009)	45
Figura 6.1 Mapa del Parque Agrario del Baix Llobregat (DIBA, 2012)	59
Figura 6.2 Tipo de frutos que se cultivan en el Parque Agrario (Departamento de Agricultura de la Generalitat, 2002)	61
Figura 6.3 Tipos de hortalizas que se cultivan en el Parque Agrario (Departamento de Agricultura de la Generalitat, 2002)	61
Figura 7.1 La cuenca del río Llobregat (Agbar, 2012)	68
Figura 7.2 Ubicación de la EDAR y ERA Depurbaix (EMA-AMB, 2010)	69
Figura 7.3 Variación del VAN respecto a los ingresos por venta de agua regenerada	82
Figura 7.4 Variación del VAN con respecto a diferentes Costes de Oportunidad	82

Índice de tablas

Tabla 3.1 Características de la ETAP Abrera (ATLL, 2011)	19
Tabla 3.2 Características de la ETAP Cardedeu	20
Tabla 3.3 Características ITAM Llobregat (ATLL, 2011)	21
Tabla 3.4 Suministro agua potable en el AMB (AMB-EMA)	22
Tabla 3.5 Capacidad de tratamiento de aguas residuales de la AMB (EMA-AMB, 2010)	25
Tabla 3.6 Caudal de tratamiento y eliminación de contaminantes (ACA, 2009)	26
Tabla 3.7 Tratamientos aplicados y caudales de diseño de las ERA`s de la AMB (ASERSA, 2010)	28
Tabla 4.1 Calidad del agua luego de la depuración. (AMB y Depurbaix SA, 2012)	34
Tabla 4.2 Caudales necesarios para satisfacer las demandas de re-utilización (Depurbaix SA, 2012)	38
Tabla 4.3 Calidad del agua luego de la regeneración básica para caudal ecológico, riego y mantenimiento de zonas húmedas (AMB y Depurbaix SA)	39
Tabla 4.4 Calidad del agua luego de la regeneración avanzada para barrera contra intrusión salina. (AMB y Depurbaix SA, 2012)	41
Tabla 5.1 Resumen de los criterios de calidad para la reutilización de las aguas regeneradas según los usos (RD 1620/2007)	46
Tabla 5.2 Parámetros de entrada a la etapa de desinfección de la EDAR Depurbaix (Water & Wastewater ITT)	48
Tabla 5.3 Parámetros de salida luego del proceso de regeneración (Water & Wastewater ITT)	48
Tabla 5.4 Conjunto de medidas correctoras de impactos previstas en la declaración de impacto ambiental (PVA Depurbaix, SA)	50
Tabla 5.5 Toxicidad de los diferentes cultivos frente el elemento considerado y el parámetro salinidad (Mujeriego, 1990 y Urbano, 1995. EDAR del Prat de Llobregat)	52
Tabla 6.1 Ficha técnica del Parque Agrario (DIBA, 2012)	56
Tabla 6.2 Distribución de los cultivos (Montasell, 2008)	57
Tabla 6.3 Superficie de cada municipio que conforman el Parque Agrario del Baix Llobregat (Plan Especial, 2004)	59
Tabla 6.4 Cultivos más característicos del Parc Agrari del Baix Llobregat (Parc Agrari, 2008)	62
Tabla 6.5 Población ocupada agraria y peso relativo respecto al total de ocupados agrarios de Cataluña (Parc Agrari, 2011)	63
Tabla 6.6 Cuantificación de la producción hortícola (Departamento de Agricultura, Alimentación y Acción Rural)	63
Tabla 6.7 Peso relativo del PIB agrario de la comarca del Baix Llobregat respecto al PIB agrario de Cataluña (Parc Agrari, 2011)	64
Tabla 7.1 Principales usos del agua regenerada (EMA-AMB, 2010)	69
Tabla 7.2 Análisis de los impactos considerados dentro de la investigación (elaboración propia. Referencia, Seguí, 2004)	71
Tabla 7.3 Costos de inversión de la ERA Depurbaix según capacidad instalada, actualizado al 2011 (Conill et al, 2011)	75
Tabla 7.4 Costos de inversión de la ERA Depurbaix según caudal real de regeneración	75
Tabla 7.5 Costes de operación de la ERA Depurbaix desde 2007 (Conill et al, 2011)	75
Tabla 7.6 Datos iniciales para ejecución del modelo (elaboración propia. Referencia Seguí, 2004)	76
Tabla 7.7 Cálculo de la cantidad de fertilizante	77
Tabla 7.8 Aportación económica del agua regenerada en términos de fertilizante	77
Tabla 7.9 Cuantificación de las externalidades del proyecto	80
Tabla 7.10 Análisis de sensibilidad para diferentes precios de ventas	81
Tabla 7.11 Análisis de sensibilidad para los Costos de Oportunidad	82

Capítulo 1 Introducción

El agua es un recurso natural, imprescindible para la vida humana y el medio ambiente, que hay que proteger y preservar. Sin embargo, la actividad humana viene ejerciendo un impacto significativo sobre éste recursos, debido a la alta vulnerabilidad a la contaminación provocada tanto por la actividad urbana como industrial. Es por ello surge la necesidad de gestionar los recursos hídricos correctamente y velar por la funcionalidad de los ecosistemas que alimenta.

La degradación ambiental provocada por los vertidos contaminantes ha originado un profundo cambio en las estrategias del control de la calidad de las aguas a nivel europeo, que acaba trasladándose a los Estados Miembros de la Comunidad Europea.

La Directiva Marco en política de aguas de la Comunidad Europea (2000/60/CE), conocida como Directiva Marco del Agua (DMA) es el instrumento normativo de obligada aplicación en los Estados miembros de la Unión Europea, que se convierte en el origen de un importante cambio en la gestión del agua. Su objetivo es garantizar el buen estado del medio acuático, tanto desde el punto de vista cualitativo como cuantitativo, mediante un uso sostenible basado en la protección a largo plazo de los recursos hídricos.

En la comunidad autónoma de Cataluña, la Agencia Catalana del Agua (ACA) redacta y aprueba el Plan de Gestión del Distrito de Cuenca Fluvial de Cataluña (cuencas internas) mientras que, en las cuencas catalanas dentro de los ámbitos de las demarcaciones hidrográficas del Ebro y del Júcar, la ACA redacta un conjunto de propuestas de gestión, solicitando a la Administración del Estado que sean incorporadas a los respectivos planes de gestión de cada demarcación hidrográfica, siempre recordando que la ACA posee plenas competencias en saneamiento y, en cooperación con el mundo local, en abastecimiento. El conjunto de ambos tipos de propuestas configura el Plan de Gestión del Agua de Cataluña.

El Plan de Gestión del Agua es el conjunto de propuestas elaboradas de acuerdo con los principios de la DMA dirigidas a economizar y racionalizar la utilización del agua, y a garantizar el buen estado de los sistemas acuáticos (ríos, embalses, lagos, zonas húmedas, aguas costeras y aguas subterráneas). El plan responde a una nueva concepción de la planificación y administración del agua. Su finalidad es garantizar la satisfacción de la demanda y, a su vez, proteger el entorno y favorecer la sostenibilidad ambiental, económica y social, así como el uso racional de los recursos hídricos. De esta manera, el plan de gestión hace compatibles los objetivos de calidad ambiental (buen estado del medio natural acuático) con la garantía del recurso para los diferentes usos que hacemos del agua.

Con el objetivo de garantizar el saneamiento de las aguas residuales urbanas existentes y futuras, mejorando la calidad del agua y de los ecosistemas acuáticos, la Generalitat de Cataluña aprueba en el año 1995, el Programa de Saneamiento de Aguas Residuales Urbanas 2005 (PSARU 2005), por la que se establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas, orientada a la protección de las aguas, y que pretende conseguir antes del año 2015 un buen estado de las masas de agua superficiales, mediante el desarrollo de medidas de protección, mejora y regeneración de dichas masas.

El Área Metropolitana de Barcelona (AMB), que se extiende unos 600 km², cuenta con más de treinta pueblos, donde habitan el 50% de la población, aproximadamente 3,5 millones de personas. Es la mayor aglomeración industrial en España y en el segundo rango en términos de población, ocupación e ingresos.

El suministro de agua en el AMB, tiene tres fuentes: el río Llobregat, el canal de transferencia desde el río Ter, situado en el norte de Cataluña y los acuíferos locales. En el año 2010, el volumen obtenido a partir de estas tres fuentes fue de 232 hm³/año, con un consumo interno per cápita de 107 l/día, una de las más bajas a nivel internacional. Este bajo consumo se atribuye a la efectiva sensibilización pública derivada principalmente de la sequía del 2008. En el 2009, se construyó una planta de desalinización de agua marina, proporcionando así una capacidad de suministro adicional de 60 hm³/año de agua potable.

El AMB es también una autoridad inter-municipal que supervisa el tratamiento de aguas residuales y la distribución, de agua potable y agua regenerada. Cuenta con un total de siete plantas de tratamiento (EDAR) para el procesamiento de todas las aguas residuales en la región por medio de al menos un tratamiento biológico secundario en virtud de las normas europeas de calidad del efluente.

La depuración de las aguas consigue varios objetivos, como: el cumplimiento de objetivos ambientales de acuerdo con la normativa que regula los vertidos y la calidad del agua, aumento de los recursos hídricos disponibles y la viabilidad de la reutilización de los efluentes depurados a través de procesos de regeneración.

Tres de las EDAR's cuentan con una Estación de Regeneración de Agua (ERA). La más grande es la de El Prat de Llobregat (SRRAR Depurbaix), con una capacidad instalada de 100 hm³/año de agua regenerada para usos múltiples y que representa un componente esencial de la gestión del ciclo del agua dentro de los límites metropolitanos de Barcelona.

Ahora bien, el concepto de reutilización directa, de acuerdo con la definición utilizada en la legislación española, es "aquella que habiendo sido ya utilizada el agua por quien la derivó y antes de su devolución a cauce público, fuera aplicada a otros diferentes usos sucesivos". Se trata por tanto de un aprovechamiento de los efluentes depurados tras un proceso de "regeneración", sin que medie vertido a cauce público.

La reutilización de las aguas regeneradas cuenta con diversas ventajas: incrementa los recursos existentes, mejora la gestión de los recursos hídricos ya que permite utilizar aguas de mejor calidad en usos que lo requieren y proporciona una garantía de fiabilidad y regularidad de recursos disponibles.

No obstante, es importante atender a los impactos asociados a la implementación y operación de estos sistemas de regeneración y reutilización de aguas residuales (SRRAR), como los asociados a: el riesgo sanitario, la aceptación pública ligada generalmente a la garantía de calidad y los costes asociados a los procesos de regeneración y distribución de agua para su reutilización.

Capítulo 2 Objetivos

El objetivo principal del trabajo es evaluar la factibilidad técnico-económica del sistema de regeneración y reutilización de agua residual urbana del Baix Llobregat para utilizarla en el riego agrícola del Parc Agrari, tomando en cuenta aspectos regulatorios, económicos, sociales, tecnológicos y ambientales de la construcción y explotación de dicho sistema.

Y los objetivos específicos son:

1. Identificar y valorar los costes privados de la EDAR-ERA
2. Identificar las externalidades del sistema de regeneración
3. Identificar impactos privados y externalidades del sistema de regadío del Parc Agrari
4. Determinación del precio mínimo de venta de agua regenerada

Capítulo 3 Modelo de gestión del agua en la cuenca del Baix Llobregat

La legislación bajo la cual está reglamentada el abastecimiento, el saneamiento y la reutilización del agua en la Cataluña y por lo tanto en el Área Metropolitana de Barcelona (AMB), está dividida en tres niveles: la Europea o Comunitaria, la Estatal y la establecida por la Generalitat de Cataluña.

En cuanto a la normativa Comunitaria encontramos la Directiva 91/271/CEE del 21 de mayo de 1991 sobre el tratamiento de las aguas residuales urbanas y la Directiva Marco del Agua o Directiva 2000/60/CE del 23 de octubre del 2000 que establece el Marco Comunitario de actuación en una política de aguas.

La normativa Estatal promulgó el Real Decreto Ley 11/1995 del 28 de diciembre de 1995 en cual se establecen las normas aplicables al tratamiento de aguas residuales urbanas y el Real Decreto 509/1996 del 15 de marzo de 1996 para el desarrollo del decreto antes promulgado. En ambas normas se incorporan los objetivos y conceptos de la Directiva 91/271/CEE.

Posteriormente se redactó el Real Decreto Legislativo 1/2001 del 20 de julio, en el cual se aprueba el texto refundido de la Ley de Aguas y se establece en su artículo 109º la orden al Gobierno para que establezca las condiciones básicas que se deben cumplir para la reutilización de las aguas, con la calidad a exigir dependiendo de los usos que se le vaya a conferir al agua regenerada.

Por último encontramos el Real Decreto 1620/2007 del 7 de diciembre por el cual se establece el marco legal de la reutilización de las aguas depuradas, determinando las responsabilidades del depurador, del regenerador y de las autonomías y autoridades locales en cuanto a establecer planes y programas de reutilización de aguas.

Con el objetivo de garantizar el saneamiento de las aguas residuales urbanas existentes y futuras, mejorando la calidad del agua y de los ecosistemas acuáticos, la Generalitat de Cataluña aprueba en el año 1995, el Programa de Saneamiento de Aguas Residuales Urbanas 2005 (PSARU 2005) aprobado el 20 de junio del 2006, la cual se enmarca entre la Directiva 91/271/CEE sobre el tratamiento de aguas residuales urbanas y la Directiva 2000/60/CE, por la que se establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas, orientada a la protección de las aguas, y que pretende conseguir antes del año 2015 un buen estado de las masas de agua superficiales, mediante el desarrollo de medidas de protección, mejora y regeneración de dichas masas.

Luego existen distintas normativas que también tienen jurisdicción en todo lo relacionado a la regeneración y reutilización del agua en Cataluña y en la AMB, como son el Plan Hidrológico de las Cuencas Internas de Cataluña aprobado por el Real Decreto 1664/1998 del 24 de julio, el Decreto Legislativo del 2/2003 del 4 de noviembre por el cual se aprueba el texto refundido en materia de aguas en Cataluña, la Disposición Adicional Catorceava de la Ley 5/2007 del 4 de julio que establece que las concesiones o autorizaciones para la regeneración de aguas que

otorga la Agencia Catalana del Agua (ACA) puede dividir el caudal regenerado entre los consumidores finales y fijar el valor máximo y mínimo de las tarifas correspondientes, el Decreto 380/2006 del 10 de octubre que aprueba el reglamento de la planificación hidrológica que regula los procedimientos de elaboración, aprobación y revisión de los diversos instrumentos de planificación hidrológica del Distrito de la Cuenca Fluvial de Cataluña.

El programa recoge más de 4000 actuaciones, que han sido seleccionadas de acuerdo a criterios de eficiencia y presentando especial atención a su interrelación, permitiendo mejorar la calidad del medio y garantizar el abastecimiento.

De los 9.405 millones de euros de inversión que supone el programa de medidas, el 59% (5.521 millones de €) será asumido o bien por la ACA (4.092 M€), o bien por ATLL (1.429 M€). El resto se distribuye entre las otras administraciones y agentes que intervienen en el ciclo integral del agua en Cataluña (Departamentos de la Generalitat, Administración General del Estado, entes locales y usuarios).

Cada uno de los agentes diseñará mecanismos para hacer frente al volumen de inversión. En el caso de ACA y ATLL, la inversión prevista pendiente es de 3.639 M€ (5.521 - 1.882 ya ejecutados). Dado que lo poco restante del Fondo de Cohesión de la Unión Europea (82 M€) se ejecuta este año, que el nivel de deuda ha llegado al límite técnico admisible y que la repercusión en el recibo de la inversión pendiente es socialmente inasequible, el plan de gestión prevé financiar la inversión casi íntegramente a cargo de la Disposición Adicional Tercera del Estado de Autonomía de Cataluña de acuerdo con el Plan Cataluña acordado por el Gobierno de la Generalitat.

En este capítulo se revisará la gestión del agua de abastecimiento, la red de saneamiento y las instalaciones de regeneración de agua que están presentes en la cuenca del Prat de Llobregat.

Red de abastecimiento de agua

Las principales fuentes de suministro del agua que se consume en el Área Metropolitana de Barcelona (AMB) son el río Ter y el Llobregat. Entre los dos representan un 71% del agua distribuida. En el caso del río Llobregat se tienen dos estaciones de tratamiento de agua potable (ETAP). Una que está localizada fuera del AMB, que es la potabilizadora de Abrera, una planta que entró en funcionamiento en el año 1980 y tiene una capacidad de tratamiento de 4 m³/s.

En esta ETAP, el agua se capta directamente del río Llobregat, mediante un pre-tratamiento de desbaste y tres desarenadores, un tratamiento primario constituido por decantadores, ajuste de pH y coagulación-floculación y una desinfección final con dióxido de cloro, se produce agua con alto contenido de sales. Para disminuirlo, una fracción del agua pasa por un proceso de electrodiálisis reversible. Finalmente el agua es clorada y almacenada en 4 depósitos de 263.000 m³ que permiten garantizar el suministro de caudal de las diferentes redes (ATLL, 2011). Las características técnicas se presentan en la tabla nº 3.1.

Para la red concreta del AMB se tiene que para el año 2010 se distribuyeron 22,28 hm³ de agua de los 58,61 hm³ tratados en la planta. Es decir, un 38%.

Tabla 3.1 Características de la ETAP Abrera (ATLL, 2011)

Captación	
Longitud azud	100 m
Ancho de paso rejas desbaste	30 mm
Longitud desarenadores	30 mm
Decantación	
Número de decantadores	8 unidades
Tipo	Accelerator
Diámetro	28 m
Caudal nominal	0,5 m ³
Filtros de arena	
Número de filtros	12 unidades
Superficie unitaria	137 m ²
Espesor capa de arena	70 cm
Caudal nominal	3 m ³ /s
Filtros de carbón	
Número de filtros	15 unidades
Superficie unitaria	100 m ²
Espesor capa de carbón	1,5 m
Volumen del lecho de carbón	150 m ³
Volumen total de carbón	2.250 m ³
Caudal nominal	3 m ³ /s
Tiempo de contacto superior a	7 minutos
Electrodíálisis reversible	
Caudal de tratamiento de la EDR	2,4 m ³ /s
Rendimiento de recuperación de caudales	85-90%
Rendimiento de eliminación de sales	60-80%
Volumen medio de sales eliminadas	154 Tn/día

Aguas abajo, por el río Llobregat, se encuentra la segunda potabilizadora, la ETAP de Sant Joan Despí. Está en funcionamiento desde 1955, y potabiliza las aguas superficiales captadas del río Llobregat y las subterráneas procedentes del acuífero del valle bajo del mismo río. Tiene una capacidad de 2,3 m³/s.

El agua se capta a través de unas redes de 8 mm de separación, que sirven para hacer un desbaste con un máximo de producción total de 5,3 m³/s. A esa agua se le añade ClO₂ para desinfectarla. Luego se bombea y pasa a la cámara de mezcla donde se le agrega el floculante y el coagulante para la posterior decantación. El agua decantada pasa por unos filtros de arena

fina. Después el agua se vuelve a bombear y entra en un proceso de ozonización. Posteriormente pasa por filtros de carbón activo.

A partir del año 2009 se adicionó la etapa de ultrafiltración y ósmosis inversa para tener un agua de mayor calidad. El producto es un agua desmineralizada, por lo que se debe pasar por una remineralización y desinfección. Finalmente se deposita en estanques de estabilización, para ser distribuida a través de la red de abastecimiento. Toda el agua producida en esta potabilizadora es utilizada en el AMB. Para el año 2010 produjo un total de 96,34 hm³ de agua (AGBAR, 2011).

Por el lado del Ter, se tiene la ETAP Cardedeu. Esta planta entró en funcionamiento en el año 1996, tienen una capacidad de tratamiento de 8 m³/s y puede almacenar hasta 617.000 m³ de agua en sus 4 depósitos. El agua se capta en la presa del Pasteral, aguas debajo de los embalses de Sau y Susqueda. Mediante una galería de 56 km de longitud y un diámetro de aproximadamente 3 metros llega a la estación. En la obra de llegada se realiza una pre-cloración. Pasa por un proceso de coagulación-floculación y se distribuye entre los decantadores. Luego viene un proceso de filtración por carbón activo. Para ser finalmente desinfectada por medio de cloro gas disuelto y almacenada en los depósitos (ATLL, 2011). Las características técnicas se muestran en la tabla n° 3.2.

Tabla 3.2 Características de la ETAP Cardedeu

Capacidad de tratamiento	
Capacidad de tratamiento de la ETAP	8 m ³ /s
Longitud galería (entre el Pasteral y la ETAP)	56 km
Diámetro	3 m (sección equivalente)
Longitud conducción	22,4 km
Diámetro	3 m
Decantación	
Número de decantadores	8 unidades
Tipos	Pulsator
Dimensiones de cada decantador	36,75 x 36,50 m
Superficie total	10.731 m ²
Altura agua	5 metros
Volumen total del agua	53.655 m ³
Tiempo medio de retención	111 minutos
Velocidad ascensional	2,68 m ³ /m ² /hora
Filtración	
Número de filtros	48 unidades
Dimensiones de cada filtro	14,95 x 7,6 m
Espesor capa de carbón activo	0,80 m
Superficie filtrante unitaria	4.449 m ²
Velocidad de filtración	7,5 m ³ /m ² /hora
Capacidad máxima de filtración	9,27 m ³

Para el año 2010, la ETAP Cardedeu trató un total de 135,08 hm³. De este total unos 69,63 hm³ fueron utilizados para suplir la demanda del AMB. Lo que representa un 51,5%.

Aparte de las fuentes de agua superficial, se tiene una pequeña parte proveniente de la instalación de tratamiento de agua marina (ITAM) del Prat de Llobregat. Esta planta fue inaugurada en el año 2009 y presenta la tecnología punta en desalación. Puede incorporar 60 hm³ de agua por año y tiene una capacidad de 180.000 hm³/día de caudal medio. El coste de construcción fue de 230 M€ y fue financiado en un 75% por la Unión Europea.

Para esta planta se toma agua del mar a través de un inmisario submarino, formado por dos tuberías de 1.800 mm de diámetro y 2.200 m de longitud, captando el agua de mar a 23 m de profundidad. Esta agua es impulsada gracias a una estación de bombeo de 6 m³/s de caudal máximo y una conducción de impulsión de agua de mar hasta la planta desaladora de 3.100 m de longitud y 2.000 mm de diámetro, que discurre paralela a la línea de costa hasta cruzar el río Llobregat.

El proceso de ósmosis inversa cuenta con 10 bastidores, en los que hay 230 tubos por bastidor. De este proceso se obtiene un 45% de agua producto y un 55% de rechazo. El agua producto no puede ser consumida si se distribuye con esas características de salinidad, por lo que debe pasar un proceso de remineralización. Antes de entrar a éste se le introduce una pequeña cantidad de CO₂. Posteriormente se desinfecta con la adición de ClO₂.

El agua potabilizada se transporta mediante una tubería de 1.400 mm de diámetro y 12 km de longitud hasta el depósito de la Font Santa, en la localidad de Sant Joan Despí. Donde es introducida en la red del AMB. El agua rechazo es devuelta al mar Mediterráneo mediante el emisario submarino de la estación de depuración de aguas residuales del Prat de Llobregat. Sin embargo, antes de ser enviado se mezcla la salida de la depuradora con la salmuera, en una proporción 3:2 para reducir los efectos negativos de la salmuera en la flora y fauna marina. En la tabla nº 3.3, se observan las características de la ITAM Llobregat (ATLL, 2011).

Tabla 3.3 Características ITAM Llobregat (ATLL, 2011)

Caudales	
Caudal medio de agua producto	60 hm ³ /año
Caudal máximo de agua producto	200.000 m ³ /día
Caudal máximo	2,31 m ³ /s
Caudal máximo de captación de agua de mar	6 m ³ /s
Proceso de desalación por ósmosis inversa	
Factor de conversión	45%
Salinidad del agua de mar	39700 ppm
Salinidad del agua producto	110 ppm
Rendimiento de eliminación de sales	99,70%

Además de esto, se obtiene abastecimiento de agua desde los distintos acuíferos de la zona. Por ejemplo está el acuífero del Besós, gestionado por AGBAR, cuya planta de tratamiento se basa en la nanofiltración y en la ósmosis inversa para reducir los niveles de sal de un agua con características salobres. El agua subterránea representó un total de 32,44 hm³ para el año 2010 (ATLL, 2011).

En la figura nº 3.1, se observa la red de suministro y producción de agua potable del AMB.



Figura 3.1 Red de suministro de agua (AMB-EMA)

En la figura nº 3.1 se presentan las tres ETAP's que suministran agua al AMB, además se tienen las pequeñas plantas de tratamiento donde los caudales son reducidos. También se observan los dos depósitos estratégicos, controlados por AGBAR, para el caso de la ITAM Llobregat se tiene el depósito de Font Santa, gestionado por la ETAP de Sant Joan Despí; y el depósito de la Trinitat, donde se deposita toda el agua proveniente de la ETAP Cardedeu.

La tabla nº 3.4, muestra en detalle la procedencia de las fuentes de suministro para el AMB.

Tabla 3.4 Suministro agua potable en el AMB (AMB-EMA)

Suministro		2009	2010
Superficial (hm ³)	Sant Joan Despí	96,6	96,34
	Abrera	22,7	22,28
	Cardedeu	98,2	69,63
	Total	217,5	188,25
Subterránea (hm ³)		23,8	32,44
Desalada (hm ³)		-	10,81
TOTAL		241,29	231,51

En la tabla nº 3.4 se ve que la principal fuente de suministro para el AMB es la ETAP de Sant Joan Despí. Posteriormente vendría la de Cardedeu, haciendo que los aportes del río Ter lleguen a representar un 37% del agua superficial consumida en el AMB. Se observa que el agua subterránea ha aumentado su participación en la gestión de agua potable, llegando a ser un 14% del total de agua. La adición de la ITAM Llobregat también trae una nueva fuente de suministro, ya que en el primer año de operación llegó a contribuir con un 5% del total. En la figura nº 3.2, se pueden ver estos porcentajes de una manera más clara.

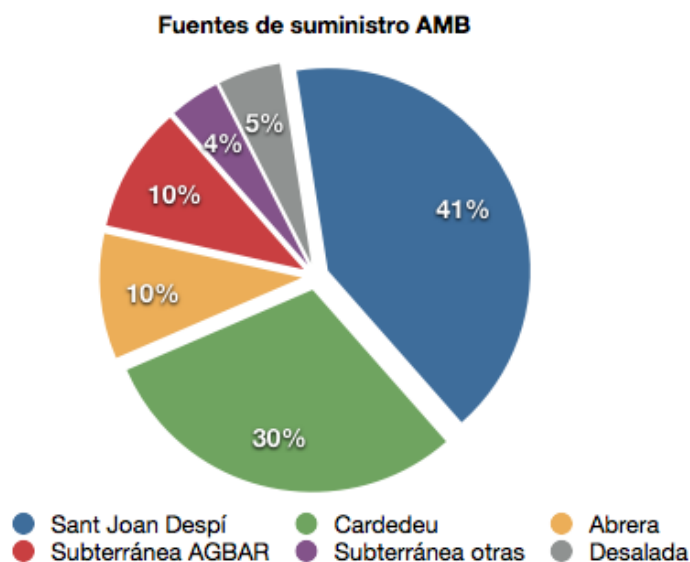


Figura 3.2 Fuentes de suministro de agua del AMB (AMB-EMA)

Sistema de Saneamiento

El saneamiento de las aguas es un proceso clave para garantizar la calidad del agua y, por lo tanto, la salud y la preservación del medio. De ahí la importancia de devolución al medio (a los ríos y al mar) del agua que se ha utilizado en condiciones óptimas.

La institución encargada de gestionar las aguas es la Agencia Catalana del Agua (ACA), la cual redacta y aprueba el Plan de Gestión del Distrito de Cuenca Fluvial de Cataluña (cuencas internas) mientras que, en las cuencas catalanas dentro de los ámbitos de las demarcaciones hidrográficas del Ebro y del Júcar, la ACA redacta un conjunto de propuestas de gestión, solicitando a la Administración del Estado que sean incorporadas a los respectivos planes de gestión de cada demarcación hidrográfica, siempre recordando que posee plenas competencias en saneamiento y, en cooperación con el mundo local, en abastecimiento.

La primera depuradora de Cataluña se construyó en el año 1983 y desde entonces se ha experimentado un aumento considerable llegando a las 369 depuradoras en el año 2009, lo que significa un incremento del caudal de depuración de 363 a 664 hm³/año. En este momento existen 400 en funcionamiento lo que significa una capacidad de tratamiento del 95% de las aguas residuales urbanas.

Actualmente, la gestión de las instalaciones de tratamiento de aguas residuales está organizada de la siguiente manera:

- Administración actuante; responsable de gestionar el sistema de saneamiento:
 - Agencia Catalana del Agua
 - Administración competente/ente gestor
- Formas de realizar la gestión del servicio:
 - Gestión directa
 - Empresa pública
 - Empresa mixta
 - Gestión indirecta
 - Empresa explotadora privada

A nivel del Área Metropolitana de Barcelona (AMB), la entidad Metropolitana de Servicios Hidráulicos y Tratamiento de Residuos (EMSHTR), más conocida como Entidad del Medio Ambiente (EMA-AMB), es un entidad local creada por la Ley Catalana 7/1987, de 4 de Abril. La cual le atribuye competencias en materia de obras hidráulicas y abastecimiento domiciliario de agua potable, de saneamiento y descarga de aguas residuales, de tratamiento y aprovechamiento de residuos municipales y de coordinación de los servicios municipales correspondientes a los 31 municipios que conforman el AMB, como se muestra en la figura nº 3.3 a continuación.

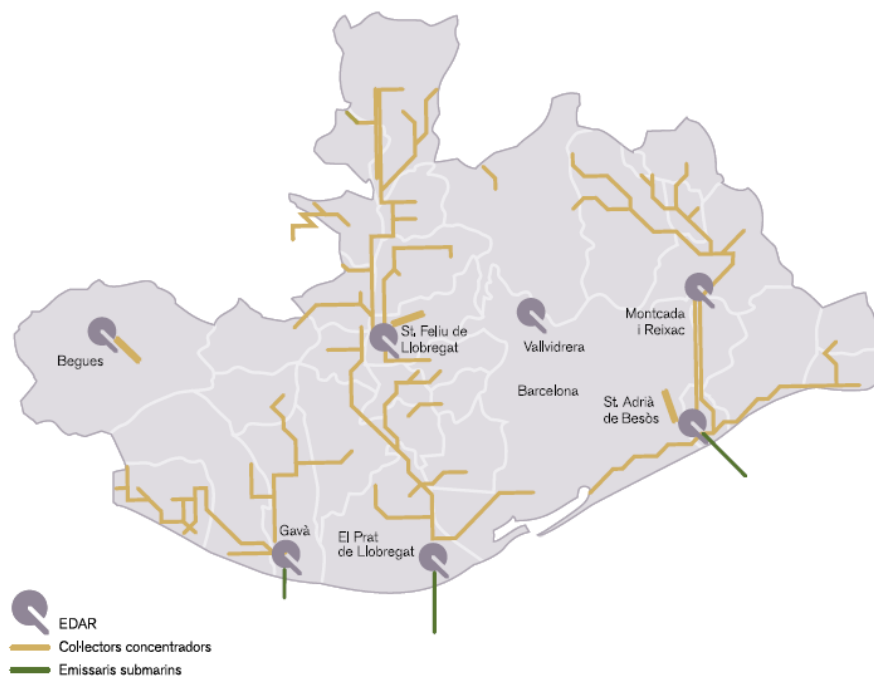


Figura 3.3 Red de saneamiento de agua del AMB (EMA-AMB)

La Empresa Metropolitana de Saneamiento SA (EMSSA), empresa pública de la EMA-AMB, gestiona el servicio de saneamiento en alta del Área Metropolitana de Barcelona, explotando y manteniendo todas las infraestructuras en servicio:

- Red de colectores en alta
- Estaciones Depuradoras de aguas residuales (EDAR)
- Emisarios submarinos
- Estaciones de Bombeo

La figura nº 3.3 muestra la distribución de las principales EDAR's que conforman la red de saneamiento del AMB alcanzando un nivel de tratamiento del 99% de la población. En la tabla nº 3.5 se especifican los caudales de tratamiento.

Tabla 3.5 Capacidad de tratamiento de aguas residuales de la AMB (EMA-AMB, 2010)

EDAR	Capacidad de diseño (m ³ /d)	Hab-eq	Tipo de tratamiento	Caudal tratado 2010 (hm ³)
Besòs	525.000	2.850.000	Biológico	136,6
El Prat de Llobregat	315.000	1.710.000	Biológico, nutrientes y terciario	99,7
Sant Feliu	64.000	380.000	Biológico, nutrientes y terciario	17,9
Montcada i Rexac	72.600	430.000	Biológico	18,2
Gavà-Viladecans	64.000	380.000	Biológico	14,6
Begues	1.200	7.000	Biológico, nutrientes y terciario	0,4
Vallvidrera	1.100	6.000	Biológico, nutrientes y terciario	0,3
TOTAL				287,8

Según la Memoria del ACA del año 2009, en total se han tratado 287,8 hm³ de aguas residuales, de los cuales 136,5 hm³ corresponden a la planta del Besòs, 99,7 hm³ en la planta de El Prat de Llobregat y 51,6 hm³ al resto de depuradoras. Estos caudales son similares en el año 2010 según el reporte de los datos ambientales publicados por el EMB-AMB.

Específicamente en la cuenca del Llobregat se encuentran 63 depuradoras, de las cuales las de mayor tratamiento son: la de El Prat de Llobregat, Sant Feliu de Llobregat, Gavà-Viladecans, Begues y Vallvidrera, lo que significa 99,97 % del total (133,1 hm³ anuales) y el resto de las depuradoras (58) abarcan en total un caudal de tratamiento anual de 0,027 hm³, lo que significa 0,03% del total de la cuenca.

El funcionamiento general de estas depuradoras se basa en dos líneas principales de tratamiento: la de agua y la de fangos. Las cuales se describen a continuación.

Línea de agua

- Desbaste. Los sólidos de pequeño tamaño que llegan al agua entrante, procedente de los usos industriales y urbanos, son separados mediante unas rejillas de cribado.
- Desarenador. El objetivo de este equipo es separar las arenas que han llegado con el efluente que hay que tratar.
- Desengrasador. En esta fase las grasas presentes en las aguas se retiran por flotación.

- Decantación primaria. En estos equipos se produce la sedimentación de los flóculos de materia orgánica e inorgánica, que se depositan en el fondo del decantador. Las depuradoras biológicas pueden incluir este proceso o no, en función del grado de contaminación del agua entrante.
- Reactor biológico. Es el equipo en el que se digiere la materia orgánica presente en las aguas residuales por medio de la actividad biológica de los microorganismos que hay en el agua. Esta actividad se optimiza con la incorporación de aire o de oxígeno. En este proceso también se puede conseguir la reducción de los compuestos de nitrógeno, de fósforo y de nutrientes presentes en el agua residual.
- Decantación secundaria. En este recinto se realiza la separación del agua depurada de los lodos biológicos. Una parte de estos lodos se dirige al reactor biológico y otra se conduce hacia el espesador de lodos. Las aguas depuradas son vertidas en el medio receptor o prosiguen su tratamiento en equipos de depuración llamados terciarios.

Línea de Fangos

- Espesador de lodos. En este equipo, los lodos o la materia decantada se concentran, se mezclan y se homogenizan para reducir el volumen y poder tratarlos posteriormente con mayor eficacia.
- Digestor de lodos. En este equipo, los lodos espesados se estabilizan y se elimina su parte fermentable. Este es un proceso que se puede llevar a cabo aprovechando la actividad biológica de los microorganismos presentes en los lodos o mediante la adición de compuestos químicos. Este proceso puede ser de tipo aeróbico o anaeróbico, es decir, con presencia o ausencia de oxígeno.
- Deshidratación de lodos. Con este proceso se reduce el contenido de agua en los lodos para disminuir su volumen y, de este modo, hacer que se puedan manipular más fácilmente. El destino final de los lodos puede ser la valorización agronómica, la valorización energética, el compostaje o la disposición en depósitos controlados.

La EMA-AMB declara que desde el año 2006 todas las depuradoras de la red metropolitana aplican tratamiento biológico, que permite eliminar gran parte de la carga contaminante. En la tabla nº 3.6 se cuantifican las toneladas eliminadas de sólidos en suspensión (MES), demanda química de oxígeno (DQO), demanda biológica de oxígeno (DBO₅), nitrógeno total (NT) y fósforo total (PT) durante el año 2009 como consecuencia del tratamiento de agua residual de la principales depuradoras del AMB.

Tabla 3.6 Caudal de tratamiento y eliminación de contaminantes (ACA, 2009)

Cuenca	Caudal de tratamiento (m ³ /d)	MES (t/año)	DBO ₅ (t/año)	DQO (t/año)	Nitrógeno Total (t/año)	Fósforo Total (t/año)
Llobregat ^(*)	265.063	29.172	28.428	56.898	2.758	518
EDAR Llobregat	361.414	45.992	37.816	74.288	2.892	675
EDAR Besòs	273.719	24.348	26.366	48.975	3.907	537
TOTAL	900.196	99.512	92.610	180.161	9.557	1.730

^(*) Excepto la EDAR Baix Llobregat

El sistema de depuración correspondiente a la cuenca del Baix Llobregat alcanza un nivel de tratamiento del 69,6 % con el funcionamiento de las 63 depuradoras existentes. Mientras que la EDAR del Besos aporta un 30,4 % del total del caudal de tratamiento.

Según la EMA, durante el año 2010 el conjunto de EDAR's han funcionado con normalidad y han alcanzado unos niveles de calidad muy buenos. Y en tanto, correspondiente a la línea de fangos, la cantidad total de lodo producido ha sido de 62.644 toneladas de materia seca (TMS), cantidad inferior a la del 2009 (64.843 TMS). La cantidad correspondiente a las EDAR's de la tabla nº 3.6, para el año 2010 la cantidad producida por la del Besòs fue de 43.986 TMS y el conjunto de EDAR's de la cuenca del Baix Llobregat alcanzó una producción de 18.658 TMS.

Regeneración de agua

Las fuentes de suministro de agua en Barcelona, específicamente en el Área Metropolitana de Barcelona (AMB), pueden llegar a ser escasas e insuficientes para satisfacer las demandas hechas por la sociedad en cuanto a cantidad y calidad del agua. Entre el conjunto de medidas propuestas para mejorar la gestión del agua en la AMB se ha considerado la regeneración y reutilización del agua como instrumento para asegurar el aprovechamiento de los recursos hídricos y asegurar el buen estado ecológico de las aguas, condiciones éstas establecidas en la Directiva Marco del Agua (DMA).

La regeneración de agua en Cataluña está orientada a otorgar una fuente alterna fiable de suministro de agua y la mejora de los ecosistemas, todo ello establecido en el Programa de Reutilización del Agua en Cataluña que dirige la ACA. Con el propósito de alcanzar este objetivo, se han diseñado sistemas de regeneración y distribución comunes para distintos tipos de usuarios, identificando los usos que podría tener el agua regenerada a partir de los valores de calidad alcanzados en el proceso, aplicando los criterios de recuperación de costes que exige la DMA, que van más allá de los costes de producción y utilización por lo que deben incluir los costes ambientales del agua, es decir, de su disponibilidad en el medio y los ecosistemas dependientes de ella.

La regeneración de agua en la AMB está constituida por un conjunto de Estaciones de Regeneración de Agua (ERA), como lo son las de Sant Feliu; la de Montcada, la de Gavà-Viladecans, la de Sant Boi y finalmente la del Llobregat. La distribución de estas ERA's se muestra en la figura nº 3.4.

Reutilització de l'aigua a l'AMB

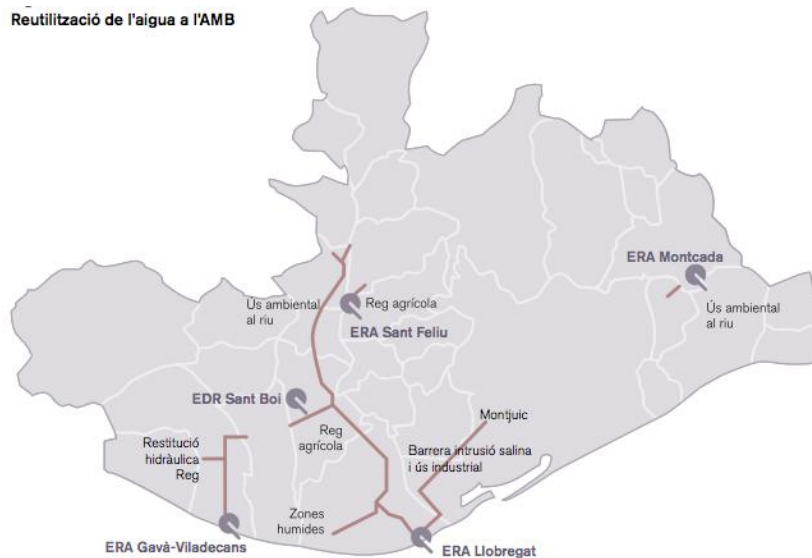


Figura 3.4 Mapa de ERA de la AMB (PRAC, 2009)

Esta última ERA se encuentra anexa la Estación de Depuración de Aguas Residuales (EDAR) ubicada en el Delta del río Llobregat. Allí los usos otorgados al agua regenerada son principalmente la contribución al mantenimiento del caudal ecológico del río Llobregat, la sustitución de riego agrícola, el mantenimiento de las zonas húmedas y la barrera contra la intrusión salina; todos estos usos se consideran estacionales, exceptuando la barrera contra la intrusión salina.

El objetivo principal de la ERA del Llobregat es la de subsanar parte del déficit en cuanto al suministro de recursos hídricos de la AMB, aportando unos 50 hm³ anuales a la red, siempre regulados por los usos establecidos en el Programa de Reutilización de Agua en Cataluña, y bajo la supervisión de la ACA (2009). Para ello se ha de aplicar procesos intensivos de adecuación del efluente proveniente de la EDAR del Llobregat, siendo estos procesos más exigentes en el caso de la barrera contra la intrusión salina. En la tabla n° 3.7 se presentan los tratamientos aplicados.

Tabla 3.7 Tratamientos aplicados y caudales de diseño de las ERA's de la AMB (ASERSA, 2010)
Instalaciones de regeneración y reutilización y caudales de diseño

Sistema	Tipos de tratamiento y sistema de distribución (a)	Caudal (m ³ /s)	Principales usos
Gavà-Viladecans	2,5 km tubería ø=1200 mm	0,25	Restitución hidràulica Riego agrícola indirecto
	3,0 km tubería ø=800 mm		
Begues	Eliminación de nutrientes	---	Zonas verdes en estudio
Montcada i R.	10,0 Ha de humedales	0,20	Uso medioambiental al río
Sant Feliu de Ll.	Eliminación de MES	0,50	Riego agrícola Uso recreativo (minigolf)
	1,9 km tubería ø=800 mm		
	2,3 km tubería ø=300 mm		
	3,2 km tubería ø=630 mm		
Vallvidrera	Eliminación de nutrientes	---	---
Besòs	---	---	Plan de usos redactado
El Prat de Ll.	Eliminación de nutrientes	3,25	Barrera contra la intrusión salina Uso medioambiental al río Recarga acuífero delta Llobregat Riego agrícola Mantenimiento zonas húmedas Industrial Zonas verdes Baldeo de calles Limpieza de alcantarillado
	Eliminación de MES per filtración		
	Eliminación de sales per osmosis		
	Oxigenación		
	Reducción de sales per EDR		
	18,8 km tubería ø 1600 mm - ø 1400 mm		
	8,6 km tubería ø 1600 mm - 2 ø 1000 mm		
	Balsa de regulación		
	Red de distribución ø 400 - 200 mm		
Hidrante para carga de camiones cisterna			

(a) Todos los sistemas tienen tratamiento biológico con desinfección
(b) Actuación que finalizará el 2011

La reutilización en la AMB puede significar un menor coste global en el suministro de agua y una mayor protección ambiental (Mujeriego, 2009); teniendo en cuenta que aguas pre-potables usadas para riego podrían ser sustituidas por aguas regeneradas, usándose también para regadíos de jardinería y de limpieza de calles. También podrían sustituirse aguas provenientes de caudales ambientales por aguas regeneradas de gran calidad en los puntos donde se hace la captación para el abastecimiento y como complemento del caudal ambiental cuando la fuente debe atender al abastecimiento y a un ecosistema natural.

Otros posibles usos del agua proveniente de una ERA puede ser la sustitución del vertido de una EDAR por el de una ERA con el propósito de diluir los vertidos en un determinado cuerpo de agua y mejorar así la calidad de éstos, el suministro de agua regenerada como alternativa a la extracción de aguas provenientes de un acuífero que esté en condiciones de sobreexplotación y la recarga artificial de éstos.

Para la AMB la reutilización del agua constituye un instrumento válido y necesario de la gestión integral del agua que no sólo está destinada al desarrollo de nuevos recursos hídricos, sino que también está orientada a la protección ambiental, por lo cual está regida por una serie de normas específicas y posee características diferentes a la depuración en cuanto a la asignación de recursos y costes de implantación y operación. La fiabilidad del proceso garantiza la disponibilidad de caudales, especialmente en la temporada estival, permitiendo que las aguas de calidad pre-potable puedan ser utilizadas para el abastecimiento y ciertos usos ambientales.

Una vez estimadas, desde el punto de vista económico, las medidas adoptadas en el año 2008 para afrontar la sequía sufrida en la AMB y en Cataluña en general, se hace necesario afrontar la reutilización y la regeneración como una opción real de gestión del agua, cuantificando no sólo el coste de producción, sino estimando el valor del agua, teniendo en cuenta los costes comparativos en los ámbitos sociales, económicos y políticos del conjunto de medidas tradicionalmente adoptadas como los trasvases y la desalación y todas las aristas supeditadas a estos instrumentos de gestión del agua.

Capítulo 4 Tratamiento y caracterización del agua residual municipal regenerada

El tratamiento de un agua residual urbana consiste en una combinación de procesos y operaciones de tipo físico, químico y biológico destinados a eliminar el residuo sólido, la materia orgánica, los microorganismos patógenos y, a veces, los elementos nutritivos contenidos en el agua residual. Los términos generales utilizados para designar los diferentes grados de tratamiento son: tratamiento preliminar, tratamiento primario, tratamiento secundario y tratamiento avanzado, siempre en orden creciente del nivel de tratamiento. Una vez finalizada la última etapa del tratamiento, el efluente suele someterse a una desinfección para eliminar microorganismos patógenos.

La estación depuradora de aguas residuales del Prat de Llobregat (EDAR), también conocida como DepurBaix, es una sociedad estatal dependiente del Ministerio de Medio Ambiente participada por el Estado (85%), a través de la Dirección General del Patrimonio, y por la Agencia Catalana del Agua (15%). Gestiona el sistema de saneamiento, depuración y reutilización del Baix Llobregat. Está ubicada en el municipio de El Prat de Llobregat, en el delta del río Llobregat como se muestra en la figura nº 4.1, y trata las aguas del sistema de saneamiento del Baix Llobregat, una zona con una fuerte implantación industrial formada por los municipios: Barcelona, Cornellà de Llobregat, El Prat de Llobregat, Esplugues de Llobregat, L'Hospitalet de Llobregat, Sant Joan Despí, Sant Boi de Llobregat, Santa Coloma de Cervelló y Sant Just Desvern. El titular de la instalación es la Entidad del Medio Ambiente (EMA o EMSHTR) y la explotación está a cargo de la Empresa Metropolitana de Saneamiento, SA (EMSSA).

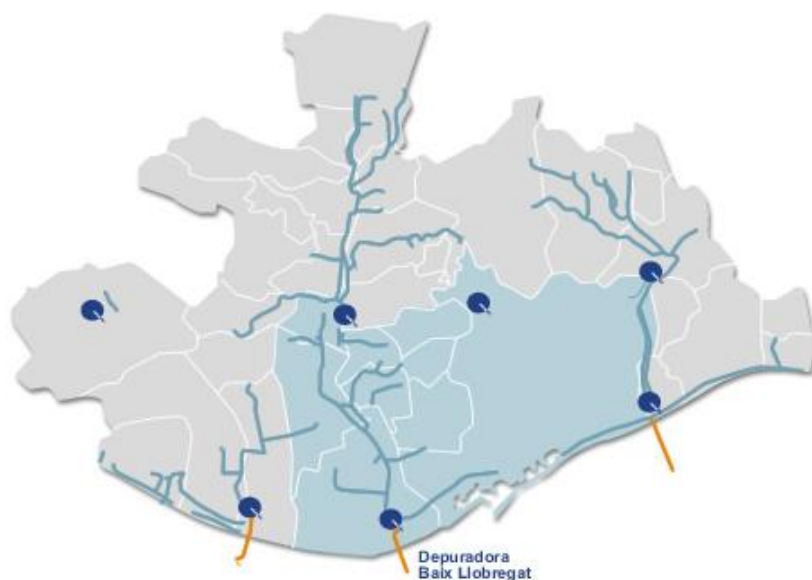


Figura 4.1 Ubicación de la Depuradora Baix Llobregat (AMB, 2012)

El proceso de tratamiento de aguas en la EDAR, es el biológico con eliminación de nutrientes, seguido de una etapa de reutilización. El tratamiento de lodos corresponde a una digestión anaeróbica con cogeneración y secado térmico.

En líneas generales, la estación recibe aguas residuales urbanas, industriales y pluviales, las cuales a través de un tratamiento biológico con eliminación de nutrientes y desinfección, obtiene agua con calidad necesaria para su descarga al medio. Una fracción de esa agua depurada va al tratamiento de regeneración, mediante el cual se eliminan componentes tóxicos y perjudiciales, para ser re-utilizadas para: mantenimiento del caudal ecológico del río Llobregat, agua de riego agrícola, riego de zonas verdes, mantenimiento de zonas húmedas y como barrera de intrusión salina.

Tiene una capacidad de tratamiento de 420.000 m³/d, equivalente al uso de 2 millones de habitantes y las actividades económicas asociadas al AMB. El agua regenerada en esta planta permite aumentar la disponibilidad de agua en la región en 50 hm³ anuales.

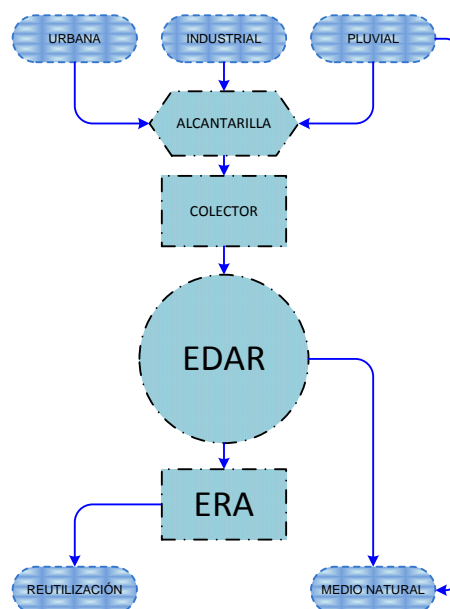


Figura 4.2 Sistema de saneamiento de Depurbaix. (AMB, 2012)

El sistema de saneamiento, como lo muestra la figura n° 4.2, está constituido por la red de alcantarillado que recibe y transporta los tres tipos de agua desde la fuente hasta los colectores a través del sistema de alcantarilla. Los colectores son grandes canalizaciones que agrupan el agua para transportarlas hasta entrada de la depuradora de aguas residuales.

Una parte del agua depurada, es vertida al mar mediante un emisario submarino de 3.200 metros de longitud y 48 metros de profundidad, con una descarga media diaria de 294.000 m³.

La otra fracción, es enviada a la estación de regeneración de aguas (ERA), donde se eliminan las partículas de materia orgánica restantes, bacterias, virus, sales y otras impurezas, dejando el agua con la calidad suficiente para ser reutilizada. Los fangos generados en esta estación son enviados y tratados en la línea de fangos de la EDAR. La figura n° 4.3 muestra el Sistema de Regeneración y Reutilización de Aguas Residuales Depurbaix.

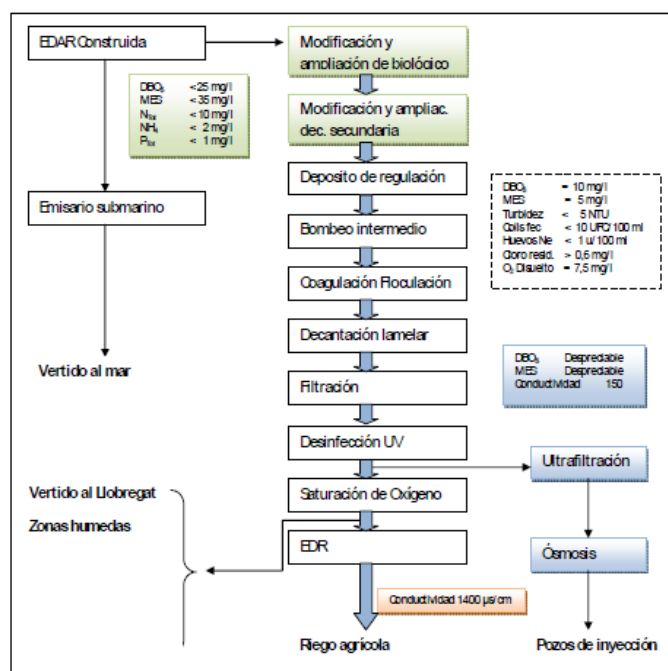


Figura 4.3 Proceso de depuración y regeneración de aguas residuales (Depurbaix SA)

A continuación se describen las partes asociadas a la depuración y regeneración de las aguas residuales.

Estación Depuradora de Aguas Residuales (EDAR)

El tratamiento de las aguas residuales en la EDAR consiste en un pre-tratamiento, tratamiento primario y tratamiento secundario, antes de ser descargada al medio natural a través del emisario submarino.

La EDAR consta de dos líneas de tratamiento generales:

1. **Línea de aguas:** depuración del agua residual, eliminando los objetos de gran tamaño, jabones, aceites, tierras y arenas, materias orgánicas y nutrientes, para que el agua se pueda verter al mar sin contaminarlo.
2. **Línea de Fangos:** fermenta la materia orgánica que se obtiene durante la depuración para obtener biogás y convertirlo en energía.

La eficiencia de depuración alcanzada en la EDAR supera el 92% de la contaminación de las aguas que ingresan al sistema de tratamiento. La calidad de agua que se logra con este procedimiento se muestra en la tabla nº 4.1, a continuación.

Tabla 4.1 Calidad del agua luego de la depuración. (AMB y Depurbaix SA, 2012)

Parámetro	Unidades	Calidad
DBO5	mg/l	<25
MES	mg/l	<35
Nitrogeno total	mg/l	<10
NH4	mg/l	<2
Fósforo total	mg/l	<1
Nematodos intestinales	Huevos/10L	0
Escherichia Coli	UFC/100mL	0
Sólidos en suspensión	mg/l	4
Turbidez	UNT	1-2
Conductividad	μS/cm	2.800

El proceso se correspondiente a la línea de aguas y fango se detalla a continuación:

Línea aguas

Como se muestra en la figura n° 4.4, el proceso de tratamiento está constituido por tres etapas principales que permiten obtener una calidad del efluente necesario para la descarga al medio natural cumpliendo con lo establecido por Plan Nacional de Saneamiento y Depuración de Aguas Residuales.

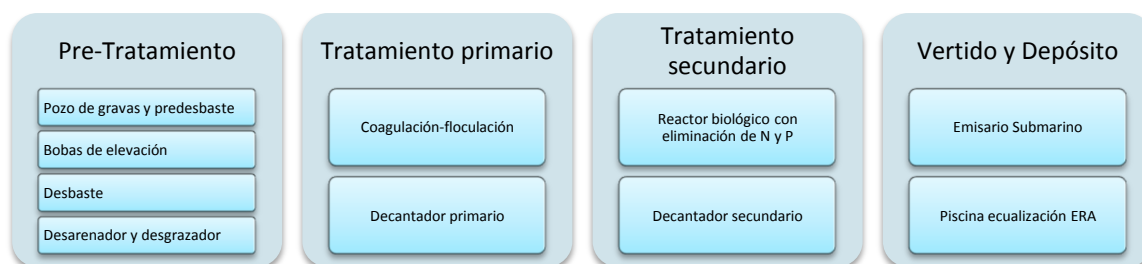


Figura 4.4 Diagrama de bloque del tratamiento agua residual

A continuación se desarrollan con más detalle cada etapa del tratamiento de aguas realizado en la EDAR DepurBaix.

Pre-tratamiento

Consiste en un pozo de gravas donde se deposita el agua de entrada, bajando la velocidad para que se depositen los sólidos de gran tamaño, luego se pasa por una reja que retiene objetos más pequeños y que no tienen el peso suficiente para caer al fondo.

Este proceso permite extraer gravas, plásticos, papeles y objetos mayores a 10 (cm). El lodo generado va a un depósito controlado.

Luego las bombas de elevación impulsan el agua hacia la cota más alta de la EDAR, permitiendo que circule por gravedad en el resto del tratamiento.

Un conjunto de rejas y tamices configuran la proceso de desbaste, eliminando los sólidos más finos de entre 3 a 5 (mm). Los lodos generados son enviados a un depósito controlado.

Como último proceso de esta etapa, el agua pasa por depósitos donde se extraen las arenas y las grasas presentes. Estos lodos son enviados a depósito controlado.

Tratamiento primario

El agua proveniente del desarenado/desgrasado, entra al decantador primario donde se elimina por decantación gran parte de los sólidos en suspensión, que incluyen hasta el 35% de la materia orgánica del agua residual.

Tratamiento secundario

El primer proceso de esta etapa está constituido por diversos tanques que crean las condiciones porque diferentes tipos de bacterias eliminan hasta el 70% del nitrógeno y el fósforo mediante el proceso de nitrificación y desnitrificación. Se libera nitrógeno a la atmósfera.

Luego, el agua entra al decantador secundario el cual separa el agua de los microorganismos, que sedimentan en forma de fango diluido. Este fango suma aproximadamente el 60% del total de la materia orgánica presente inicialmente.

Esto quiere decir que, entre el decantador primario y el secundario, se extraen más del 95% de los sólidos en suspensión y de la materia orgánica.

Los lodos generados en esta etapa son enviados al espesador y reactor biológico de la línea de fangos. Además, se libera nitrógeno a la atmosfera.

Vertido y Depósito

Parte del agua depurada es conducida al mar donde se vierte mediante un emisario submarino.

La otra fracción de agua es deposita en las piscinas de acumulación al inicio del proceso de regeneración.

Línea de fangos

En cuanto al tratamiento de los fangos producidos, se ha diseñado una instalación compleja que incluye los procesos de estabilización (digestión anaerobia) y deshidratación mecánica, seguido de un secado térmico con cogeneración de energía. Con el secado térmico se consigue minimizar la cantidad de fango, repercutiendo en una mejor operación de manejo y uso final del mismo. Por otra parte, la aplicación de la cogeneración en el esquema permite aprovechar tanto energía eléctrica como calorífica, lo que significa una importante reducción de los costes de explotación. La figura nº 4.5 muestra el diagrama de proceso de la línea de lodos y sus principales productos.



Figura 4.5 Diagrama de proceso de la línea de fangos

La valorización energética del fango pretende transformar el fango en recurso energético, utilizable en plantas de gasificación, cementeras, centrales térmicas, entre otras. El producto resultante puede ser utilizado también como: abono en la agricultura o materia prima en la fabricación de materiales constructivos.

Dentro de las tecnologías que implican una valorización energética del fango se incluyen la digestión anaerobia, secado térmico, gasificación y los procesos periféricos asociados que conlleva la aplicación de las tecnologías indicadas, como son el precalentamiento de fangos antes de la deshidratación y la cogeneración. A continuación se detalla los procesos unitarios que conforman esta etapa:

Espesador

Es el inicio de la línea de fangos, donde se aumenta la concentración del fango que se ha extraído de los decantadores primarios y secundarios de la línea de aguas. Considerando que el fango está muy diluido, sólo 1% de material sólido, se utiliza un decantador convencional para obtener un fango con 6% en sólidos, el cual es enviado al digestor.

El agua bruta obtenida es reingresada en la etapa de pre-tratamiento de la línea de aguas, directamente al pozo de gravas.

Digestor

Los fangos se depositan en un tanque cerrado evitando el contacto con el aire, a una temperatura de entre 35º y 39ºC para que las bacterias anaeróbicas lo degraden. De este proceso se obtiene biogás, el cual es enviado al gasómetro y puede ser utilizado en: caldera auxiliar del digestor, moto-generadores de secado térmico y gasificación, en motor de gas y calderas de vapor/turbina. . Y el fango estabilizado que puede ser utilizado en agricultura

Deshidratador y secado térmico

Los fangos se centrifugan aumentando su concentración hasta obtener una consistencia plástica. Luego, una gran parte del agua, que no se puede eliminar por los procesos mecánicos de la deshidratación, se extrae mediante la aportación de calor. Esto se consigue en los secadores térmicos, donde el fango pasa a ser un producto seco en forma granular con sólo un 10% de humedad.

De este proceso se obtiene un fango estabilizado el cual puede ser utilizado para: material de soporte de compostaje o combustible alternativo en cementeras y centrales térmicas.

Gasómetro y Central de cogeneración

Estanque que recibe y acumula el biogás para homogeneizarlo. El biogás que se produce en la digestión se aprovecha para producir electricidad, empleándose como combustible en motores de combustión acoplados a un alternador. La energía eléctrica producida es aprovechada en la propia planta depuradora.

Estación Regeneradora de Aguas (ERA)

Una parte del agua depurada, es enviada a un tratamiento específico el cual llamaremos Tratamiento de Regeneración, que consiste en la eliminación de material en una desinfección y filtración. La figura n° 4.6 muestra las etapas de la regeneración de aguas residuales.

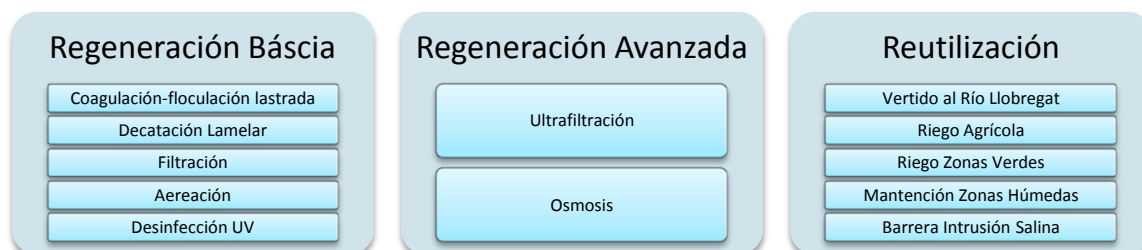


Figura 4.6 Diagrama de proceso de la de regeneración en la ERA.

Esta etapa está constituida por una regeneración básica y una avanzada. Esto obedece a que las calidades de agua necesarias para los diferentes usos son distintas y necesitan de distintos niveles de tratamiento.

Aproximadamente el 30% del agua residual que es tratada en la depuradora, es destinada a regeneración, para ser utilizada en distintos usos mostrados en la tabla n° 4.2.

Tabla 4.2 Caudales necesarios para satisfacer las demandas de re-utilización (Depurbaix SA, 2012)

Usos	Caudales	Unidad
Contribución al caudal ecológico	2	m ³ /s
Sustitución caudales de riego agrícola	0,75	m ³ /s
Riego de zonas verdes	0,10	m ³ /s
Mantenimiento de zonas húmedas	0,40	m ³ /s
Barrera intrusión salina	15.000	m ³ /día

Regeneración básica

La regeneración básica está constituida por: decantador lamelar, filtración y desinfección por UV. Se extraen los restos de materia orgánica y en suspensión que hasta ahora no se habían podido separar mediante el decantador lamelar. El agua es filtrada mediante tamices que retienen partículas de hasta una micra (0,01 mm). Luego se desinfecta con lámparas de ultravioleta y cloración para eliminar algunos virus y bacterias que pudiesen quedar presentes en el agua.

La calidad del agua obtenida en esta etapa se muestra en la tabla n° 4.3, quedando con la calidad suficiente para ser utilizada en la mantención del caudal ecológico del río Llobregat, para riego y mantención de zonas húmedas del Delta del Llobregat.

Tabla 4.3 Calidad del agua luego de la regeneración básica para caudal ecológico, riego y mantenimiento de zonas húmedas (AMB y Depurbaix SA)

Parámetro	Unidades	Calidad
DBO5	mg/l	<10
MES	mg/l	<5
Nematodos intestinales	Huevos/10L	0
Escherichia Coli	UFC/100mL	0
Turbidez	UNT	<5
Cloro residual	mg/l	>0,6
Oxígeno disuelto	mg/l	>7,5

A continuación se detallan los procesos unitarios que configuran el tratamiento básico de regeneración:

Depósito regulador

Deposito que permite regularizar las puntas de caudal que llegan a la planta depuradora a lo largo del día. Está “constituido” por bombas con variadores de frecuencia que ajustan el caudal de entrada al tratamiento terciario a la suma de las demandas de los diferentes usos del agua regenerada.

Coagulación-floculación lastrada

Este proceso consta de dos etapas que se realizan en tres estanques independientes. Uno para la etapa de coagulación y dos para la etapa de floculación.

La etapa de coagulación consiste en un estanque de agitación rápida en donde se inyecta como reactivo sulfato de alúmina, provocando la formación de coágulos.

La etapa de floculación consiste en un estanque de inyección de mezcla rápida, en la cual se adiciona el poli-electrolito más arena fina. Gracias a la alta densidad de la arena, es posible lastrar los floculos en formación lo que facilita la sedimentación. Luego, en un segundo estanque, se lleva a cabo el proceso de maduración en donde la agitación es suave y el floculo se espesa, permitiendo su debida sedimentación. Ambas cubas se equipan con mezcladores dinámicos con el fin de mejorar el proceso e impedir sedimentaciones no deseadas.

Decantación lamelar

Este dispositivo permite conseguir una correcta sedimentación de los flóculos formados en la etapa anterior, utilizando menos espacio que un decantador convencional.

Se introduce el flujo de agua por la parte inferior del depósito. Se hace circular el agua a través de unas planchas separadas entre ellas unos pocos centímetros en sentido ascendente. El floculo es recogido en estas láminas; por gravedad y en contracorriente va hacia el fondo del decantador. Los fangos y la microarena decantados son recogidos mediante un rascador y enviados por bombeo hacia la línea de fangos. La microarena es separada previamente mediante un hidrociclón para ser utilizada nuevamente en el proceso de coagulación. El agua clarificada es evacuada por la parte superior mediante unas canaletas de recogida y distribución.

En este proceso unitario, juntamente con la floculación y la coagulación, se consigue reducir la cantidad de sólidos suspendidos que lleva el agua de salida de la EDAR, hasta los niveles de exigencia para su reutilización. La turbidez, parámetro generalmente asociado a los sólidos en suspensión, también se reduce por debajo de los límites exigidos.

Filtración

La filtración se realiza mediante un sistema de micro tamizado, permitiendo afinar la calidad bacteriológica del agua de salida. En particular, se exige una cantidad mínima de huevos de nematodos. Para asegurar la eliminación del microorganismo el sistema que ofrece más garantías es la filtración mediante un tamiz inferior a 10 micras.

Se ha previsto una batería de filtros de disco trabajando en paralelo. Por gravedad, el agua fluye a través de las telas filtrantes desde el centro del disco hacia afuera. Los sólidos son separados de la fracción líquida gracias a las mallas filtrantes fijadas sobre las dos caras de los discos. Cuando el dispositivo presenta una elevada pérdida de carga, se inicia automáticamente un proceso de lavado a presión de las mallas filtrantes. A su vez, los discos giran con el fin de exponer al flujo de agua a filtrar una superficie de malla limpia, permitiendo seguir con el proceso de filtrado mientras se produce el lavado del resto de la superficie.

Aeración

Ya que el contenido de oxígeno disuelto del efluente de los procesos anteriores no alcanza el valor adecuado y suficiente para el soporte de la fauna del río Llobregat (>7,4 mg/l), es necesaria una operación de oxigenación previa al vertido. Para ello a la salida de la filtración se conduce el agua a un depósito de aeración, en donde se inyecta aire, a través de un sistema de difusión de burbuja fina con difusores de membrana, con soplantes de émbolos rotativos trilobulares con variador de frecuencia.

Desinfección UV

Esta etapa consiste en un sistema de desinfección por radiación ultravioleta en canal abierto, constituido por 8 módulos de 144 lámparas de transmitancia del 60% U.V. cada uno.

De este proceso se obtiene agua regenerada básica que es utilizada para el riego agrícola, de jardines, limpieza de calles, usos industriales y mantenimiento del caudal ecológico. Los lodos generados son enviados a la línea de tratamiento de fangos.

Regeneración avanzada

La regeneración avanzada está constituida por: membranas de ultrafiltración y osmosis inversa. Este proceso permite filtrar aún más parte del agua regenerada para extraer cualquier impureza, incluidas las sales. El agua purificada obtenida es utilizada para recargar el acuífero del Llobregat. Y, las impurezas y salmueras son enviadas al emisario submarino para ser vertidas en el mar.

La calidad del agua obtenida en esta etapa se muestra en la tabla 4.4, quedando con la calidad suficiente para ser inyectada en los posos destinados a la creación de la barrera contra la intrusión salina en la zona del Delta del Llobregat.

Tabla 4.4 Calidad del agua luego de la regeneración avanzada para barrera contra intrusión salina. (AMB y Depurbaix SA, 2012)

Parámetro	Unidades	Calidad
DBO5	mg/l	<10
MES	mg/l	<1
Escherichia Coli	UFC/100mL	0
Turbidez	UNT	<0,1
Conductividad	μS/cm	1.400

Las operaciones de ultrafiltración y osmosis inversa se detallan a continuación:

Ultrafiltración

Esta operación unitaria esta pensaba como un proceso de pre-tratamiento que se realiza al agua antes de la osmosis inversa. Esta etapa tiene como objetivo: 1) eliminar cualquier compuesto oxidante que pueda dañar a las membranas y 2) eliminar o reducir al máximo el riesgo de ensuciamiento por acumulación de sustancias, materiales y microorganismos. El rendimiento de la ultrafiltración es de 95%, eliminando sustancias como: sólidos en suspensión, sólidos coloidales, bacterias y elementos patógenos.

Luego de la ultrafiltración, el agua pasa por unos cartuchos de filtración de 5 µm y dos etapas de radiación UV (una antes y otra después de los cartuchos), consiguiendo un grado de desinfección del agua lo más alto posible para minimizar el riesgo de crecimiento bacteriano en los filtros de cartucho y en las membranas de ósmosis inversa.

Osmosis Inversa

Esta etapa tiene por objetivo disminuir las concentraciones de trihalometanos (THM's < 100 µg/l) y mejorar de manera importante la calidad organoléptica del agua, disminuyendo la concentración de compuestos orgánicos disueltos en el agua y su salinidad.

La estación está compuesta por 10 racks de membranas de poliamida enrollada en espiral, que trabajando a baja presión, logran un 90% de conversión.

Electro Diálisis Reversible

La tecnología utilizada en el proceso de desalobración es la electrodiálisis reversible (EDR). La electrodiálisis es un proceso de separación electroquímico en el que los iones son transferidos a través de membranas semipermeables desde una solución menos concentrada a otra más concentrada por efecto de un campo de corriente continua. La EDR es una versión de la electrodiálisis en la que se invierte la polaridad de los electrodos varias veces por hora, lo que induce una autolimpieza química.

El corazón del sistema, conocido como par de célula, está compuesto por dos membranas de intercambio iónico, que permiten de forma selectiva la transferencia de cationes y aniones, y los espaciadores que separan las membranas y permiten la distribución del agua sobre la superficie de las membranas.

La acumulación en paralelo de hasta 600 pares de célula constituye lo que se conoce como pila de membranas. La línea de tratamiento se compone de las siguientes fases:

- Captación y By-Pass
- Pretratamiento
- Dosificaciones químicas
- EDR – 2 etapas
- Bombeo agua tratada
- Vertido de salmuera
- By-Pass de seguridad

Capítulo 5 Criterios de calidad del agua regenerada y calidad de agua de riego

Cada vez es más común el reuso de las aguas residuales en distintos sectores, luego del tratamiento apropiado, tales como: agrícola, industrial, ambiental, municipal y uso recreativo. La figura n° 5.1 muestra la distribución de los volúmenes de agua reutilizada por usos en Cataluña, según el Programa de Reutilización de Agua en Catalunya (PRAC, 2009).

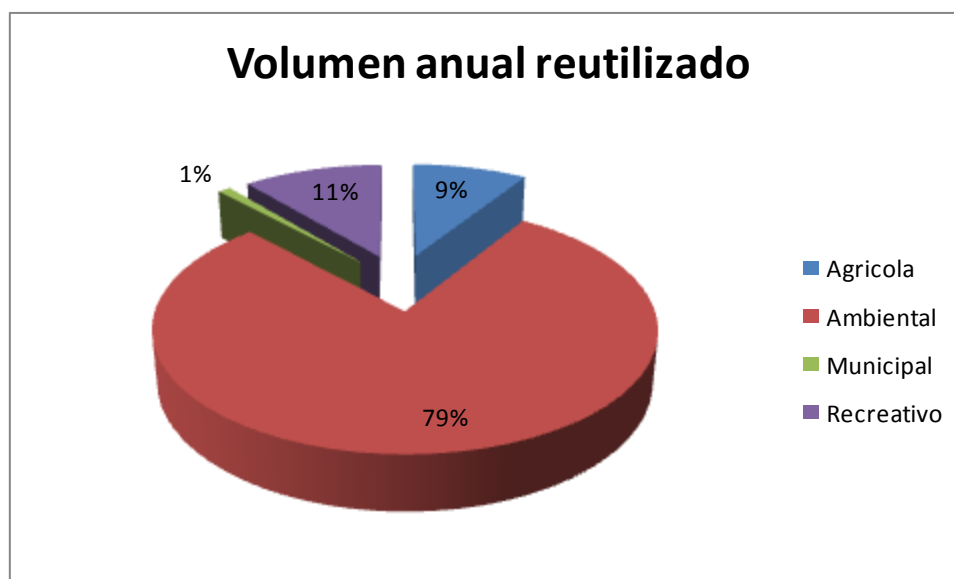


Figura 5.1 Porcentajes de reutilización de aguas por usos al año 2008 (PRAC 2009)

Al año 2008, el ACA indica que el volumen anual de reutilización alcanza los 51 hm³ y, mediante la aplicación del PRAC, para el 2015 la producción de agua regenerada alcanzará los 204 hm³ anuales. Considerando que el plan de Saneamiento de Aguas Residuales Urbanas (PSARU) prevé que para ese año la depuración de las aguas alcanzará un volumen de 720 hm³ anuales, se estará regenerando un 31% de las aguas residuales urbanas.

Los usos se distribuirán, como se muestra en la figura n° 5.1, de mayor a menor importancia de la siguiente manera: uso agrícola, con 45,7 hm³, seguido por el uso industrial, con 39,7 hm³, el ambiental, con 38,6 hm³, uso municipal, con 18,5 hm³ y finalmente el uso recreativo, con unos 10 hm³ anuales.

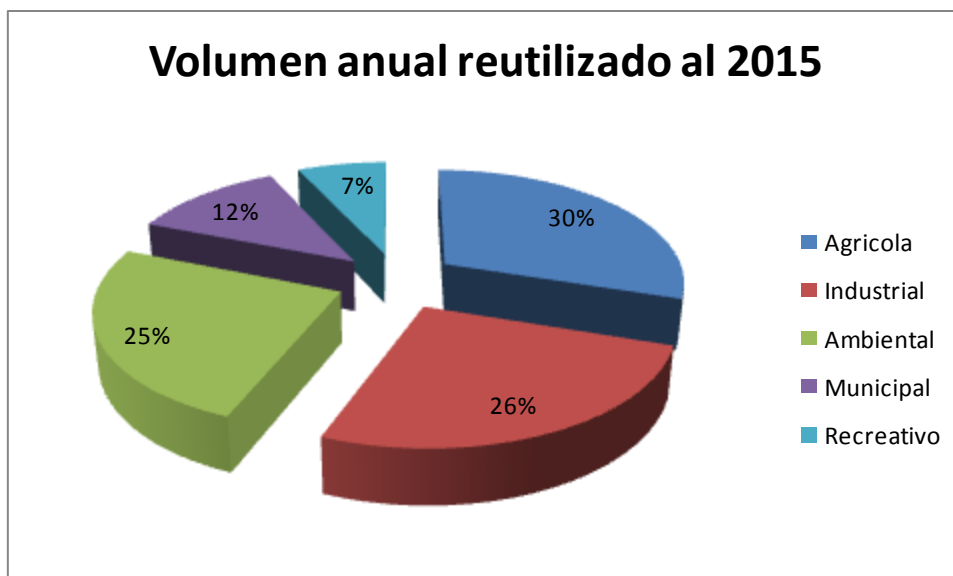


Figura 5.2 Proyección de porcentajes de reutilización de aguas por usos para el año 2015 (PRAC 2009)

Como se puede observar en la figura nº 5.2, la proyección del reúso de agua es incrementar el riego agrícola en mayor medida posicionándolo como el uso más importante. Y además, incluir dentro de la gestión de estas aguas, al sector industrial, de manera de aprovechar de forma eficiente este recurso que siempre estará presente y a disposición en grandes ciudades como Barcelona, debido a que el suministro de agua potable en el AMB es prioridad, asegurándolo, por ejemplo, en periodos de sequía. Por lo tanto, siempre se tendrá disponibilidad del agua residual para su regeneración y posterior reúso.

Por el lado industrial, los sectores que más agua consumen son: el químico, el alimentario, el papeler y el curtidor. Sin embargo, en los últimos años el consumo de agua del sector ha disminuido, debido principalmente a que se han introducido mejoras importantes dentro de los procesos productivos y a la implementación de sistemas de tratamiento, permitiendo realizar un uso más eficiente del recurso. Según el ACA, ha contribuido a esta tendencia la implementación de figuras tributarias de acuerdo con el principio de “quien contamina, paga”.

Para el sector agrícola, las actuaciones que hay que llevar a cabo, haciendo énfasis en la reutilización de aguas regeneradas, se enmarcan dentro del Plan para la Eficacia en el Uso del Agua para Riego Agrícola, que tiene como objetivo:

- Elaborar un mapa de los usos agrarios del agua en Cataluña
- Crear recomendaciones orientadas a mejorar la eficiencia productiva del agua
- Fomentar el uso racional del recurso y favorecer el ahorro
- Cuantificar las posibilidades reales de ahorro del recurso y qué medidas serían necesarias para conseguirlo

Al mismo tiempo, estos objetivos se enmarcan dentro del Plan de Regadíos desarrollado por el DAR, que pretende la mejora de la gestión del agua en Cataluña.

Criterios de calidad de agua regenerada según sus USOS

El RD 1620/2007, de 7 de diciembre, en su Anexo I, define los criterios de calidad para la reutilización de las aguas según los diferentes usos, clasificándola en cinco categorías, bajo unos parámetros de calidad básicos determinados.

Según estos criterios, cada categoría está determinada por unos parámetros de calidad que indican los valores máximos admisibles por cada parámetro, y se fijan otros criterios para cada uso dentro de la misma categoría. La tabla nº 5.1, resumen los tipos de calidad y sus límites máximos admisibles.

Tabla 5.1 Resumen de los criterios de calidad para la reutilización de las aguas regeneradas según los usos (RD 1620/2007)

USO DEL AGUA	VALOR MÁXIMO ADMISIBLE (VMA)			
	NEMÁTODOS INTESTINALES ¹	ESCHERICHIA COLI	SÓLIDOS EN SUSPENSIÓN	TURBIDEZ
1. USOS URBANOS				
CALIDAD 1.1: RESIDENCIAL a) Riego de jardines privados. b) Descarga de aparatos sanitarios	1 huevo/10 l	0 UFC/100 ml	10 mg/L	2 NTU
CALIDAD 1.2: SERVICIOS a) Riego de zonas verdes urbanas (parques, campos deportivos y similares) b) Limpieza de calles. c) Sistemas contra incendios. d) Lavado industrial de vehículos.	1 huevo/10 l	200 UFC/100 ml	20 mg/L	10 NTU
2. USOS AGRICOLAS				
CALIDAD 2.1 a) Riego de cultivos con sistema de aplicación del agua que permita el contacto directo del agua regenerada con las partes comestibles para alimentación humana en fresco.	1 huevo/10 l	100 UFC/100 ml	20 mg/l	10 NTU
CALIDAD 2.2 a) Riego de productos para consumo humano con sistema de aplicación de agua que no evita el contacto directo del agua regenerada con las partes comestibles, pero el consumo no es en fresco sino con un tratamiento industrial posterior. b) Riego de pastos para consumo de animales productores de leche o carne. c) Acuicultura.	1 huevo/10 l	1000 UFC/100 ml	35 mg/l	No se fija límite
CALIDAD 2.3 a) Riego localizado de cultivos leñosos que impida el contacto del agua regenerada con los frutos consumidos en la alimentación humana. b) Riego de cultivos de flores ornamentales, viveros, invernaderos sin contacto directo del agua regenerada con las producciones. c) Riego de cultivos industriales no alimentarios, viveros, forrajes ensilados, cereales y semillas oleaginosas.	1 huevo/10 l	10.000 UFC/100 mL	35 mg/l	No se fija límite
3. USOS INDUSTRIALES				
CALIDAD 3.1 a) Aguas de proceso y limpieza excepto en la industria alimentaria. b) Otros usos industriales.	No se fija límite	10.000 UFC/100 ml	35 mg/L	15 UNT
c) Aguas de proceso y limpieza para uso en la industria alimentaria.	1 huevo/10 L	1.000 UFC/100 ml	35 mg/L	No se fija límite
CALIDAD 3.2 a) Torres de refrigeración y condensadores evaporativos.	1 huevo/10 L	Ausencia UFC/100 ml	5 mg/L	1 UNT
4. USOS RECREATIVOS				
CALIDAD 4.1 a) Riego de campos de golf.	1 huevo/10 l	200 UFC/100 ml	20 mg/l	10 UNT
CALIDAD 4.2 a) Estanques, masas de agua y caudales circulantes ornamentales, en los que está impedido el acceso del público al agua.	No se fija límite	10.000 UFC/100 ml	35 mg/l	No se fija límite

5. USOS AMBIENTALES				
CALIDAD 5.1 a) Recarga de acuíferos por percolación localizada a través del terreno.	No se fija límite	1.000 UFC/100 ml	35 mg/l	No se fija límite
CALIDAD 5.2 a) Recarga de acuíferos por inyección directa.	1 huevo/10 l	0 UFC/100 ml	10 mg/lk	2 UNT
CALIDAD 5.3 a) Riego de bosques, zonas verdes y de otro tipo no accesibles al público. b) Silvicultura.	No se fija límite	No se fija límite	35 mg/l	No se fija límite
CALIDAD 5.4 a) Otros usos ambientales (mantenimiento de humedales, caudales mínimos y similares).	La calidad mínima requerida se estudiará caso por caso			

El Real Decreto 1620/2007, indica que el gobierno establecerá las condiciones básicas para la reutilización de las aguas, precisando la calidad exigible a las aguas depuradas según sus usos previstos, por lo cual el diseño de los tratamientos de regeneración ha de ajustarse a estos requerimientos de calidad.

En caso de que se prevean diferentes usos en un mismo sistema de promoción pública, el nivel de tratamiento se determinará de acuerdo con criterios de optimización técnica y económica, sin perjuicio de que determinados usos especialmente exigentes puedan requerir un tratamiento adicional posterior al punto de entrega del sistema público.

Criterios de calidad para agua de riego

La calidad del agua residual municipal tratada depende en gran parte de la calidad de agua de abastecimiento público, del tipo de residuos que a ésta se le añade durante su uso y del grado de tratamiento que recibe el agua residual. (Mujeriego, 1990)

Para el uso de agua regenerada en riego agrícola, se exigen tres tipos de calidad según la forma de riego y su aplicación sobre el producto comestible final. Se puede observar en la tabla nº 5.1 que tanto el parámetro “nematodos intestinales” es idéntico en cada caso. Sin embargo cuando el agua entra en contacto directamente con la parte comestible para alimentación humana, los límites para “Escherichia Coli”, sólidos suspendidos y turbidez presentan los valores máximos más exigentes.

Las impurezas presentes en el agua regenerada, exigen que su calidad deba examinarse cuidadosamente, debido a que sales, elementos nutritivos y microelementos presentes de forma natural o añadidos al agua durante su uso y tratamiento, pueden provocar efectos a largo plazo sobre el suelo y/o las plantas. Estos efectos son generalmente controlables si se conocen adecuadamente los problemas asociados con dichas impurezas y se adoptan las medidas preventivas necesarias.

Cuando la presencia de estas impurezas restringe el uso del agua residual, se requiere una gestión especial para poder mantener una productividad aceptable de agua regenerada que cumpla con los límites máximos exigidos en el real decreto. Para este caso, la EDAR Depurbaix que dentro de sus planes de reutilización, destina 0,75 m³/s a la sustitución por agua

regenerada de parte del caudal de riego de la margen derecha del Llobregat, precisa de una línea de tratamiento que asegure la calidad necesaria para este uso, descrita en el capítulo 2.

Los parámetros del agua a la entrada del tratamiento de desinfección, procedente de las etapas anteriores, se presentan en la tabla nº 5.2.

Tabla 5.2 Parámetros de entrada a la etapa de desinfección de la EDAR Depurbaix (Water & Wastewater ITT)

Parámetro	Concentración
Sólidos Suspendidos Totales	< 10 ppm
Turbidez	< 5 NTU
Transmitancia	> 60%
Coliformes fecales	105 ufc/100 ml

Para lograr una calidad suficiente del agua para su uso en riego agrícola, como también para la aportación al caudal ecológico del río Llobregat y el riego de los humedales de la desembocadura del río, se realiza un tratamiento físico-químico con decantación seguido por una filtración y una desinfección por ultravioleta de baja presión en canal abierto. La calidad obtenida se resume en la tabla nº 5.3 a continuación.

Tabla 5.3 Parámetros de salida luego del proceso de regeneración (Water & Wastewater ITT)

Parámetro	Concentración
DBO ₅	≤ 10 mg/l
Sólidos Suspendidos Totales	≤ 5 ppm
Turbidez	≤ 5 NTU
Coliformes fecales	< 10 ufc/100 ml
Huevos de Helminto	< 1 Ud/1000 ml
Cloro residual	≥ 0,6 mg/l
Oxígeno disuelto	≥ 7,5 mg/l
Conductividad	≤ 1.400 µs/cm

Para el caso específico de la calidad del agua para riego agrícola, mediante un tratamiento adicional utilizando la tecnología electrodiálisis reversible (EDR) en la ERA de Sant Joan Despí, se logra reducir la salinidad del agua regenerada en un 75%, de modo que la mezcla resultante se mantiene por debajo de los 1.400 µs/cm. (Correia; Alfranca y Seguí, 2009)

Este conjunto de medidas adoptado por Depurbaix logra obtener una calidad tipo 2.1 Riego de cultivos con sistema de aplicación del agua que permita el contacto directo del agua regenerada con las partes comestibles para alimentación humana en fresco (ver tabla nº 5.1), necesarias para reutilizar el agua regenerada en el uso agrícola en el Parc Agrari del Baix Llobregat.

Identificación y análisis de impactos

La reutilización es uno de los pilares de la política hidrológica de la AMB, ya que el área metropolitana de Barcelona tiene pocos recursos hídricos y es una zona sensible a las sequías. Reutilizar el agua depurada para actividades como el riego agrícola y de zonas verdes, permite disminuir la captación de agua, garantizando el suministro al ciudadano.

Los impactos asociados a los proyectos de regeneración y reutilización de aguas para su uso en el riego agrícola, son principalmente: la construcción de la infraestructura del sistema de depuración y regeneración de agua residual, la operación de la misma y los asociados a la cantidad y la calidad del agua regenerada sobre los cultivos.

Impactos asociados al sistema de depuración y regeneración de agua

Para este caso, el sistema de saneamiento del Baix Llobregat es una pieza clave del saneamiento de Cataluña. Su construcción permite el saneamiento de las aguas en el último tramo del río Llobregat y la mejora de las playas comprendidas entre el puerto de Barcelona y el macizo del Garraf. (Revista Ambienta, 2002)

Para cumplir con el compromiso de respetar el medio ambiente y reducir al máximo los impactos sobre los alrededores, Depurbaix lleva a cabo un Programa de Vigilancia Ambiental (PVA) informando mensualmente el cumplimiento de los términos comprometidos de acuerdo con el contenido definido en los estudios realizados y en la resoluciones de la *“Comissió Central d’Indústries i Activitats Classificades del Departament de Medi Ambient de la Generalitat de Catalunya”*. También prevé las actuaciones que se llevan a cabo cuando se detectan incumplimientos de las obligaciones establecidas o se superan los límites de contaminación determinados en los estudios de impacto ambiental. (Depurbaix SA, 2012)

Los objetivos del PVA son:

- Garantizar la implantación de las medidas correctoras y moderadoras propuestas para minimizar el impacto ambiental
- Establecer los procedimientos de medida, muestreo y análisis que permita la caracterización ambiental de la zona de influencia del proyecto y su seguimiento en el tiempo
- Medir el grado de ajuste entre los impactos previstos a nivel de valoración de impacto ambiental y los que realmente se producirán, tanto en la fase de obras como en la de operación
- Determinar las actuaciones que se llevarán a cabo si se detectan incumplimientos en las obligaciones establecidas o se superan los umbrales fijados para las variables ambientales

- Posibilitar reacciones oportunas frente a impactos inesperados y de difícil predicción
- Comprobar, durante la etapa de puesta en marcha y pruebas de la instalación, que los vertidos y emisiones cumplen con los objetivos planteados en el Proyecto

Antes del inicio de las obras se realizaron medidas de “estado cero” de los siguientes vectores ambientales: climatología, dinámica marina, contaminación acústica, contaminación atmosférica, olores, calidad del agua freática, calidad de los suelos, calidad del agua marina, calidad de los sedimentos, avifauna, comunidades naturales terrestres y comunidades bentónicas. Durante la fase de pruebas de la instalación y puesta en marcha de la depuradora, se realiza una medición continuada de la calidad de los vectores ambientales, tanto en tierra como en el mar.

A continuación, en la tabla nº 5.4 se presenta el conjunto de medidas comprometidas por Depurbaix para cumplir con los objetivos del programa de vigilancia ambiental.

Tabla 5.4 Conjunto de medidas correctoras de impactos previstas en la declaración de impacto ambiental (PVA Depurbaix, SA)

Impacto Ambiental	Medidas correctoras																		
EDAR DEL PRAT DE LLOBRAGAT																			
Impactos hacia el aire (olores)	<ul style="list-style-type: none"> • Velocidad de entrada > 0,4 m/s • Elevación de las aguas con motobomba • Instalación de desodorización • Aireación de canales • Cubrimiento de las zonas sensibles • Minimización de turbulencias en decantación primaria • Difusores de burbujas en reactor biológico • Centrífugas para espesado de fangos biológicos • Cremación del exceso de biogás • Vegetación de apantallamiento 																		
Impactos hacia el acuífero	<ul style="list-style-type: none"> • Diseño compactos de las instalaciones • Reducción del bombeo del agua durante la excavación y potenciación de su aprovechamiento • Sellado de pozos profundos en la parcela afectada 																		
Impacto sobre el suelo	<ul style="list-style-type: none"> • Tratamiento diferencial de las tierras • Diseño compacto de las instalaciones • Utilización de materiales procedentes de la excavación del río para la precarga • Uso productivo de materiales sobrantes 																		
Generación de fangos y residuos	<ul style="list-style-type: none"> • Digestión y secado de fangos biológicos para uso productivo • Depósito en vertederos autorizados del exceso de fangos y otros residuos 																		
Paisaje, flora y fauna	<ul style="list-style-type: none"> • Integración de las instalaciones en el paisaje • Realización de la precarga por fases • Plantación de una barrera perimetral • Revegetación con las especies autóctonas del delta • Aireación del reactor biológico con difusores en la parte inferior de los tanques para evitar la contaminación bacteriológica 																		
Condiciones Complementarias y medidas adicionales	<ul style="list-style-type: none"> • Cubrir entrada incluyendo el desbaste y las zonas correspondientes al almacén de residuos con ventilación forzada y sistema de desodorización • Diseño de estructuras previendo un futuro cubrimiento en caso de ser necesario • Diseño de la vegetación perimetral arbórea de forma que evite la dispersión atmosférica de los aerosoles biológicos • No superar las siguientes emisiones en los distintos focos de la planta: <table border="1" style="margin-left: 20px;"> <thead> <tr> <th colspan="3">Cogeneración</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>NOx: 500 mg/Nm3</td> <td>Motor gas natural</td> <td>Turbinas de gas natural</td> </tr> <tr> <td>SO2: 175 mg/Nm3</td> <td>NOx: 500 mg/Nm3</td> <td>NOx: 300 mg/Nm3</td> </tr> <tr> <td>TOC: 650 mg/Nm3</td> <td>CO: 650 mg/Nm3</td> <td>CO: 100 mg/Nm3</td> </tr> <tr> <td>VOC: 20 mg/Nm3</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>H2S: 10 mg/Nm3</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table> • Riego de zona ajardinada en horario nocturno evitando la presencia del personal de la EDAR • No superar los siguientes límites de contaminación acústica Zona colindante con ZEPA: Leq (7 a 22 h) de 55 dB y Leq (22 a 7 h) de 45 dB Resto del perímetro: Leq (7 a 22 h) de 65 dB y Leq (22 a 7 h) de 50 dB 	Cogeneración			NOx: 500 mg/Nm3	Motor gas natural	Turbinas de gas natural	SO2: 175 mg/Nm3	NOx: 500 mg/Nm3	NOx: 300 mg/Nm3	TOC: 650 mg/Nm3	CO: 650 mg/Nm3	CO: 100 mg/Nm3	VOC: 20 mg/Nm3			H2S: 10 mg/Nm3		
Cogeneración																			
NOx: 500 mg/Nm3	Motor gas natural	Turbinas de gas natural																	
SO2: 175 mg/Nm3	NOx: 500 mg/Nm3	NOx: 300 mg/Nm3																	
TOC: 650 mg/Nm3	CO: 650 mg/Nm3	CO: 100 mg/Nm3																	
VOC: 20 mg/Nm3																			
H2S: 10 mg/Nm3																			

EMISARIO SUBMARINO	
Condiciones Complementarias y medidas adicionales	<ul style="list-style-type: none"> • Reducir al máximo la sección de la zanja para disminuir la afectación al acuífero superficial y la ocupación del fondo marino • Los primeros tramos de excavación terrestre se realizan con tablestacas para limitar la afectación del acuífero superficial del delta • Plan de control de la afectación a los acuíferos durante la ejecución, con el establecimiento de los sondeos necesarios al lado del tramo terrestre del emisario para controlar el grado de intrusión marina • Estudio detallado de la biota submarina, en las condiciones que establece el reglamento de costas, para localización precisa de los préstamos y vertidos submarinos • Reducir la aportación de materiales de préstamo aprovechando al máximo los materiales procedentes de la excavación • Estudio de la distancia de influencia para las aves (sobretudo nidificantes) presentes en la zona ZEPA del delta de Llobregat, de forma que dentro de esta área se regule el nivel de todo tipo de emisiones, así como el calendario y horario de trabajo • Optimización del diseño del emisario según los estudios de dinámica marina litoral ligados al desarrollo del proyecto de ampliación del Port de Barcelona y de otros proyectos que se puedan llevar a cabo

Impactos asociados al uso de agua regenerada para riego agrícola

La agricultura es el sector que más agua utiliza, casi el 70% de la demanda total de agua de Cataluña, si bien en las cuencas internas este porcentaje es del 31% (ACA, 2009).

Uno de los beneficios de la reutilización es proporcionar agua para el riego agrícola sin extraerla de los recursos subterráneos, como se hace a menudo cuando se agotan los recursos superficiales. Precisamente en épocas de sequía es cuando más hay que preservar estos recursos y la reutilización permite hacerlo. Asimismo, la reutilización del agua también tiene beneficios ecológicos. (EMSSA, 2012)

El efecto negativo está asociado a la presencia de metales pesados presentes en el agua, al riesgo de contaminación por sodio y a los efectos de la salinidad y alcalinidad, lo que puede provocar problemas de crecimiento de las plantas. En la tabla nº 5.5 se muestra la toxicidad de diferentes cultivos frente a la salinidad y metales pesados considerados en el real decreto 1620/2007.

Tabla 5.5 Toxicidad de los diferentes cultivos frente el elemento considerado y el parámetro salinidad (Mujeriego, 1990 y Urbano, 1995. EDAR del Prat de Llobregat)

Elemento	Salinidad	Boro (B)	Arsénico (As)	Berilio (Be)	Cadmio (Cd)	Cobalto (Co)	Cromo (Cr)	Cobre (Cu)	Manganeso (Mn)	Molibdeno (Mo)	Níquel (Ni)	Selenio (Se)	Vanadio (V)
Límite máx. permitido	3,0 dS/m	0,5 mg/l	0,1 mg/l	0,1 mg/l	0,01 mg/l	0,05 mg/l	0,1 mg/l	0,2 mg/l	0,2 mg/l	0,01 mg/l	0,2 mg/l	0,02 mg/l	0,1 mg/l
Acelgas	sensible	sensible	sensible	sensible	tolerante	sensible	sensible	sensible	sensible	sensible	sensible	sensible	sensible
Alcachofas	semitolerante	semitolerante	sensible	sensible	sensible	sensible	sensible	sensible	sensible	sensible	sensible	sensible	sensible
Berenjenas	sensible	sensible	sensible	sensible	sensible	sensible	sensible	sensible	sensible	sensible	sensible	sensible	sensible
Lechugas	sensible	semitolerante	sensible	sensible	sensible	sensible	sensible	sensible	sensible	sensible	sensible	sensible	sensible
Calabacín	semitolerante	semitolerante	sensible	sensible	semitolerante	sensible	sensible	sensible	sensible	sensible	sensible	sensible	sensible
Coliflores	sensible	semitolerante	sensible	sensible	tolerante	sensible	sensible	sensible	sensible	sensible	sensible	sensible	sensible
Coles	sensible	semitolerante	sensible	sensible	tolerante	sensible	sensible	sensible	sensible	sensible	sensible	sensible	sensible
Brócolis	sensible	semitolerante	sensible	sensible	tolerante	sensible	sensible	sensible	sensible	sensible	sensible	sensible	sensible
Puerros	sensible	sensible	sensible	sensible	sensible	sensible	sensible	sensible	sensible	sensible	sensible	sensible	sensible
Cebolletas	sensible	sensible	sensible	sensible	sensible	sensible	sensible	sensible	sensible	sensible	sensible	sensible	sensible
Pepinos	sensible	sensible	sensible	sensible	sensible	sensible	sensible	sensible	sensible	sensible	sensible	sensible	sensible
Espinacas	sensible	sensible	sensible	sensible	sensible	sensible	sensible	sensible	sensible	sensible	sensible	sensible	sensible
Espárrago	tolerante	tolerante	sensible	sensible	sensible	sensible	sensible	sensible	sensible	sensible	sensible	sensible	sensible
Judía verde	sensible	sensible	sensible	sensible	sensible	sensible	sensible	sensible	sensible	sensible	sensible	sensible	sensible
Rábanos	sensible	sensible	sensible	sensible	semitolerante	sensible	sensible	sensible	sensible	sensible	sensible	sensible	sensible
Olivo	semitolerante	sensible	sensible	sensible	sensible	sensible	sensible	sensible	sensible	sensible	sensible	sensible	sensible
Tomates	sensible	tolerante	sensible	sensible	tolerante	sensible	sensible	sensible	sensible	sensible	sensible	sensible	sensible

Tomando como ejemplo los cultivos hortícolas del “Parc Agrari del Baix Llobregat”, se puede observar que existen cultivos que son tolerantes, semi-tolerantes o sensibles a la toxicidad de la salinidad y los microelementos. Como los valores permitidos por la legislación se corresponden al valor máximo permitido, cualquier desviación por sobre este valor afectará a la productividad de los cultivos.

A medida que aumenta la salinidad del agua residual regenerada utilizada para regar, también lo hace la probabilidad de que surjan problemas en el suelo, en el agua o en el cultivo agrícola. (Mujeriego, 1990).

Contribuyen a este problema las sales solubles y fácilmente transportadas por el agua. El problema se produce cuando las sales se acumulan en la zona de la raíz. Una salinidad excesiva del agua de riego afecta negativamente los cultivos, reduciendo la disponibilidad del agua-suelo, disminuyendo el crecimiento y restringiendo el desarrollo de las raíces. En aguas de alta salinidad, la toxicidad del Na y Cl se hacen evidentes. Además se ve afectada la rentabilidad de los sistemas de riego presurizados al acortar su vida útil por el problema de taponamiento

Los microelementos son aquellos elementos químicos presentes en el agua de riego o en el agua del suelo en concentraciones inferiores a 100 µg/l. Algunos de ellos pueden ser esenciales para el crecimiento de las plantas cuando están presentes en muy bajas

concentraciones, pero pueden convertirse rápidamente en elementos tóxicos a medida que su concentración aumenta. Por otra parte, algunos microelementos no son imprescindibles para el desarrollo de las plantas. (Mujeriego, 1990)

Con respecto a la contaminación microbiológica del agua, se ha encontrado que la probabilidad de presencia de indicadores de contaminación fecal y parásitos en los productos agrícolas de consumo humano está relacionada directamente con la calidad microbiológica del agua de riego (Castro de Esparza y Florez Muñoz, 1990).

La Comisión Internacional en Especificación Microbiológica de Alimentos (ICMSF), recomienda la detección específica de *Escherichia Coli* y *Salmonella*, como indicadores de contaminación fecal de los vegetales ya que es una cuestión relevante para la salud pública, destacando que “todos los brotes de enfermedades relacionadas con el consumo de verduras están asociadas con la contaminación superficial de estos vegetales por el agente etiológico como consecuencia de los sistemas utilizados en el cultivo, o en su tratamiento, embalaje y transporte al mercado” (ICMSF, 1983).

Capítulo 6 Caracterización de la zona de riego, consumo y gestión de cultivos

El Parc Agrari del Baix Llobregat se encuentra al poniente de Barcelona en el valle bajo y delta del río Llobregat, por el cual se abastece de agua para el riego mediante dos canales, el de la Infanta Carlota (1819) y el de la Derecha (1858). Se trata de una zona con una amplia tradición horto-frutícola que, durante muchos siglos, ha sido el suministrador principal de frutas y verduras frescas a la ciudad de Barcelona.

En el año 1998 dos administraciones locales: la Diputación de Barcelona y el Consejo Comarcal del Bajo Llobregat, y una organización profesional agraria, la “Unió de Pagesos” junto a los 14 municipios con suelo agrícola en el ámbito del Parque Agrario constituyeron el **Consortio del Parque Agrario** con la finalidad de la “participación y colaboración en la gestión integral del espacio agrario definido en el Plan Especial Urbanístico de protección y mejora así como por los contenidos del Plan de gestión y desarrollo” (PGD) del Parque Agrario.

El PGD establece que el Parque Agrario tiene como objetivo general el “consolidar y desarrollar la base territorial y facilitar la continuidad de la actividad agraria, impulsando programas específicos que permitan preservar los valores (productivos o recursos, ecológicos y culturales) y desarrollar las funciones (económica, ambiental y social) del espacio agrario en el marco de una agricultura sostenible integrada en el territorio y en armonía con el medio natural de su entorno”

El Parque Agrario pertenece a uno de los doce eslabones o parques que constituyen la Red de Espacios Naturales que gestiona el Área de Espacios Naturales de la Diputación de Barcelona (miembro de FEDENATUR) y que suponen un total 100.625 hectáreas de espacios naturales y agrarios protegidos, formando parte de uno de los 51 grandes proyectos del AMB que el Plan Estratégico Metropolitano de Barcelona ha establecido para “responder a los nuevos retos económicos y sociales del siglo XXI y configurar un área metropolitana que piensa estratégicamente”.

Descripción del Parque Agrario del Baix Llobregat

El Parque Agrario del Baix Llobregat ocupa una superficie agrícola de 2.938 ha, de la cual el 67% se considera Superficie Agrícola Útil (SAU), equivalente a 1.969 ha. Aportan territorio 14 municipios donde viven 730 mil personas. Todo el territorio del Parque Agrario es unitario, salvo una pieza aislada, situada al sur del núcleo urbano de El Prat de Llobregat, entre el aeropuerto, el Espacio Natural del Río y la reserva natural de la Ricarda.

En la sede del Parque Agrario, la masía de Can Comas, se ha unificado los servicios técnicos y de vigilancia del Parque con agrupaciones de defensa vegetal, servicios educativos, con el

Servicio de Control de Mosquitos del Baix Llobregat y el centro de información, contribuyendo al constante mejoramiento mediante acciones como:

- Arreglos de caminos y canales
- Construcción de la planta de normalización (lavado, selección y empaquetado)
- Potenciar la agricultura integrada (que minimiza el uso de agentes químicos y ofrece productos de mayor calidad)
- Limpieza de vertederos incontrolados
- Eliminación de plagas de plantas exóticas
- Construcción de estañados (inundaciones controladas) de campos, con una doble función, agrícola y biológica
- Firma de múltiples acuerdos con cooperativas y sindicatos agrarios
- Difusión y didáctica para que miles de escolares visitan el Parque cada año
- Creación de campos experimentales para conservar ejemplares tradicionales de frutales desaparecidas en el Baix Llobregat.

En el caso del territorio del delta en la comarca del Baix Llobregat, el plan de gestión del consorcio tiene como objetivo general facilitar la continuidad de la actividad agrícola en un marco de sostenibilidad integrada para la economía de los agricultores, el medioambiente del territorio y la armonía entre el urbanismo y medio natural (Papasseit, 2009). Como objetivos específicos, tienen:

- Preservar el espacio agrícola
- Promover el desarrollo económico del sector “hortícola”
- Conservar y divulgar los valores ecológicos y culturales del territorio

En la tabla nº 6.1 se resume la ficha técnica del Parque Agrario de los datos extraídos de la Diputación de Barcelona.

Tabla 6.1 Ficha técnica del Parque Agrario (DIBA, 2012)

Superficie:	2.938 ha
Órgano gestor:	Consortio del Parque Agrario del Baix Llobregat
Año de creación del consorcio:	1998
Año de aprobación del Plan de Gestión y Desarrollo:	2002
Año de aprobación del Plan Especial:	2004
Gerente del Parque:	Ramon Terricabras Maranges
Director del Parque:	Josep Montasell Dorda
Oficina del Parque:	Masía de Can Comas, camino de la ribera, s/n. Apartado de correos 76. 08820 el Prat de Llobregat

El territorio está conformado por 621 explotaciones agrícolas, lo que equivale a 1.200 ocupados agrarios (entre titulares, familiares y asalariados fijos). La tabla nº 6.2 muestra la distribución de los cultivos principales del Parque Agrario en la superficie agraria útil.

Tabla 6.2 Distribución de los cultivos (Montasell, 2008)

Tipo	Hectáreas (ha)	Proporción del total (%)
Horticultura	1.243	63
Fruticultura	513	26
Otros	213	11

Instituciones y entidades que forman el consorcio

Diputación de Barcelona

Constituida el año 1836, es una institución de gobierno local que forma parte de la administración e impulsa el progreso en la provincia de Barcelona. Compuesta por una red de 311 municipios, presta servicios a la comunidad en cooperación con los ayuntamientos. Entrega el soporte técnico, económico y tecnológico a los ayuntamientos, coordinando los servicios municipales y organizando los servicios públicos de carácter supramunicipal. El ámbito territorial representado, corresponde al 24% de la superficie total de Cataluña y el 74,4% del total de la población catalana.

La Diputación de Barcelona gestiona la red de Parques Naturales de Cataluña, un total de 12 parques correspondientes a 100.625 ha, de los cuales el 2,92% son las utilizadas por el Parque Agrario del Baix Llobregat.

Consejo Comarcal del Baix Llobregat

Es el órgano de gobierno y administración comarcal del Baix Llobregat, forma parte de la administración local de Cataluña. Creada el año 1988, por la ley de Consejos Comarcales, presta servicios a los 30 municipios que conforma la comarca.

Generalitat de Catalunya

La Generalitat es el sistema institucional en que se organiza políticamente el autogobierno de Cataluña, y está integrada por el Parlamento, la Presidencia de la Generalitat, el Gobierno y las instituciones, el Consejo de garantías estatutarias, el Síndico de Greuges, la Sindicatura de cuentas, y el Consejo del Audiovisual de Cataluña.

Los municipios, las comarcas y los demás entes locales que las leyes determinen integran también el sistema institucional de la Generalitat, como entes en los que ésta se organiza territorialmente, sin perjuicio de su autonomía.

Unió de Pagesos de Catalunya

La Unió de Pagesos es el sindicato agrario más representativo en Cataluña, desde 1974, reúne a trabajadores que se dedican a la agricultura, la ganadería o a la actividad forestal. Cuenta con cerca de 8.000 afiliados y es el sindicato más votado en los procesos electorales a Cámaras Agrarias. Desde el año 1994, tiene más del 60% de la representatividad del sector agrario obteniendo la presidencia de las cuatro Cámaras Agrarias de Cataluña.

Tiene responsables elegidos en todas las comarcas de Cataluña que representan a los campesinos en las instancias de decisión. Cuenta con 38 sedes comarcales y locales. En las oficinas también se ofrece asesoramiento y servicios a todos los profesionales del sector agrario, afiliados y no afiliados; individualmente y colectivamente, así como todos los servicios específicos para la gestión de la empresa agraria.

Ayuntamientos

Los 14 municipios con suelo agrícola que constituyen el Consorcio del Parque Agrario son; Castelldefels, Cornellà de Llobregat, Gavà, L'Hospitalet de Llobregat, Molins de Rei, Pallejà, El Papiol, El Prat de Llobregat, Sant Boi de Llobregat, Sant Feliu de Llobregat, Sant Joan Despí, Sant Vicenç dels Horts, Santa Coloma de Cervelló y Viladecans. La figura nº 6.1 muestra la distribución espacial del Parque Agrario.

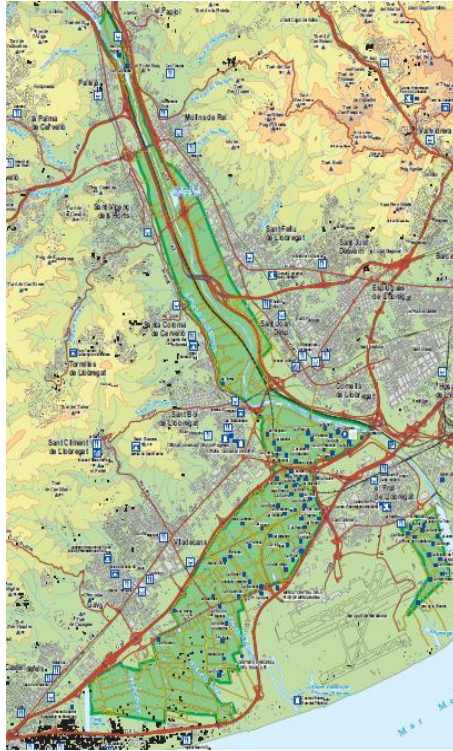


Figura 6.1 Mapa del Parque Agrario del Baix Llobregat (DIBA, 2012)

Las 2.938 hectáreas que se reparten entre los municipios se muestran en la tabla nº 6.3, según el Plan Especial de Protección y Mejora del Parque Agrario del Baix Llobregat.

Tabla 6.3 Superficie de cada municipio que conforman el Parque Agrario del Baix Llobregat (Plan Especial, 2004)

Municipio	Superficie (ha)
Castelldefels	6,9
Cornellà de Llobregat	28,4
Gavà	466,0
Molins de Rei	124,9
Pallejà	32,8
El Papiol	46,5
El Prat de Llobregat	294,0
Sant Boi de Llobregat	792,7
Sant Feliu de Llobregat	148,5
Sant Joan Despí	168,7
Sant Vicenç dels Horts	118,8
Santa Coloma de Cervelló	163,0
Viladecans	546,8

El espacio agrario

El espacio agrario del Parque Agrario del Baix Llobregat se considera un “agroecosistema”, ya que existe una interacción dinámica y equilibrada entre los seres vivos, el aire, el agua y los minerales, produciéndose un intercambio de materia y de energía suficiente para el mantenimiento de la vida.

Para mantener el equilibrio en este “agroecosistema” se modifican determinados ciclos, alterando el movimiento y el orden con el cultivo de plantas o con la introducción de especies y variedades nuevas. Los sembrados, los huertos, los campos y los márgenes presentan una serie de ambientes específicos con comunidades vegetativas propias adaptadas a cada situación y en las plantas espontáneas aprovechan este hábitat para progresar. Es por esto, que el parque agrario se utiliza como una herramienta de gestión y no como un método de momificación del espacio agrario (Montasell, 2008)

Los objetivos que se buscan al gestionar este espacio agrario son:

- Consolidar y desarrollar la base territorial (disponer de suelo para cultivar)
- Facilitar la continuidad de la actividad agrícola (presencia de agricultores/as)
- Impulsar programas específicos que permitan preservar los valores y desarrollar las funciones del espacio agrario (gestión sostenible)
- Comprometerse con el futuro (innovación tecnológica)
- Relacionarse, coordinarse y corresponsabilizarse las administraciones y el sector agrario (red de cooperación).

Su gestión se fundamenta en el PGD se puede establecer en cinco líneas estratégicas orientadas a:

- 1) La eficiencia de las infraestructuras y servicios del territorio agrario.
- 2) La mejora de la producción y la comercialización de los productos agrarios.
- 3) La modernización de las explotaciones agrarias.
- 4) La consecución de un espacio de calidad y en armonía con el medio natural y la consolidación.
- 5) Dar a conocer el patrimonio natural y cultural que contiene el Parque Agrario.

Es mediante la primera línea estratégica que se gestionan la red de caminos y red de riego, mediante el control y mejora de la calidad del agua y la reutilización de agua regenerada. Es así como la FAO escoge el Parc del Baix Llobregat para estudiar el aprovechamiento de las aguas depuradas.

Por otro lado, la cuenca del Llobregat cuenta con uno de los acuíferos más importantes de Cataluña. Se extiende desde Pallejà en el ápice del delta, donde aparece la cuña impermeable que divide el acuífero en dos unidades superpuestas con una capacidad de 50 hm³. De aquí, 700 pozos explotan el acuífero profundo con un volumen medio de extracción de 105 hm³ anuales. Del conjunto de extracciones, el abastecimiento industrial y urbano representa más del 85% y el riego agrícola alrededor de un 15%.

Los cultivos más habituales

En la zona de montaña del ámbito de influencia del Parque en la comarca, domina de forma clara el cerezo y con presencia de algunos otros árboles frutales y de forma muy minoritaria la viña. Se trata de una agricultura de secano que se practica en terrenos con fuertes pendientes. La figura nº 6.2 muestra los cultivos mayoritarios que se cultivan en el Parque Agrario.

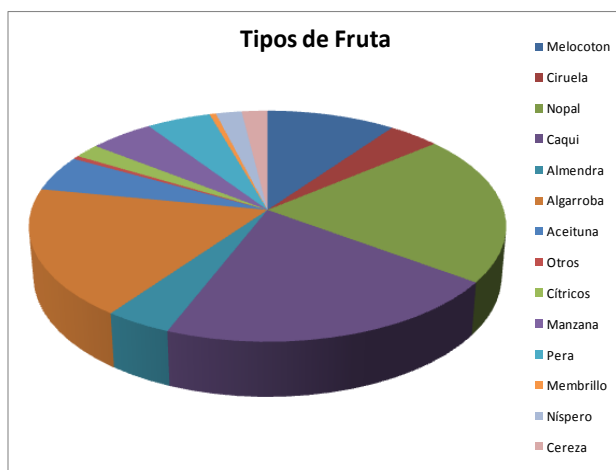


Figura 6.2 Tipo de frutos que se cultivan en el Parque Agrario (Departamento de Agricultura de la Generalitat, 2002)

En el valle bajo del río Llobregat se puede distinguir entre la actividad agraria que se lleva a cabo en la zona de montaña y la que se realiza en la llanura. Las explotaciones de secano de esta zona están ocupadas principalmente por cerezos. Los cultivos dominantes al plan son los frutales con especies como el melocotonero, el ciruelo, el manzano y el peral.

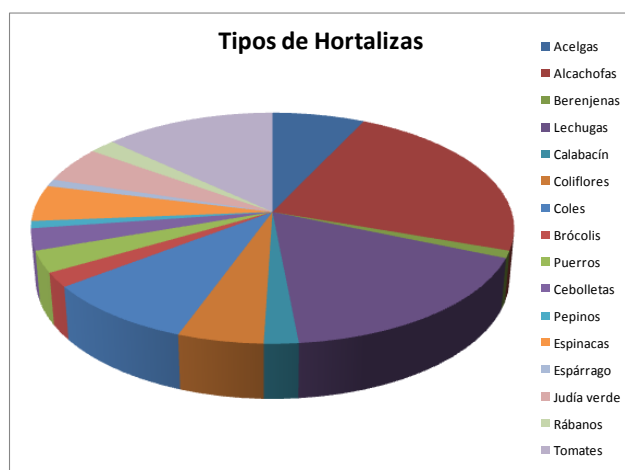


Figura 6.3 Tipos de hortalizas que se cultivan en el Parque Agrario (Departamento de Agricultura de la Generalitat, 2002)

En el delta, en las tierras llanas domina claramente el cultivo de la huerta (ver figura nº 6.3), que al estar más cercanas al mar están condicionadas por la salinidad del agua de riego. Al tratarse de plantas que sólo se cultivan algunos meses del año, los agricultores se han adaptado a lo largo del tiempo a las variaciones de la demanda y de la competencia de otras

zonas productoras. Algunos de los productos más destacables son los espárragos de Gavà, o la alcachofa, que ocupa buena parte de las tierras de cultivo y, especialmente en municipios como El Prat o Sant Boi. Otras plantas que se aprovechan para las raíces (rábanos, zanahorias) o por los bulbos (cebollas, puerros) se destacan en Gavà, favorecidas por los suelos arenosos. Las acelgas, coliflores, judías, etc, son otras especies cultivadas en el delta, en el valle bajo y en las pequeñas llanuras de regadío de la vertiente de los municipios que forman parte del ámbito del parque. En la tabla nº 6.4 se puede ver el calendario de cosechas de los productos más característicos.

Tabla 6.4 Cultivos más característicos del Parc Agrari del Baix Llobregat (Parc Agrari, 2008)

<i>Calendario de cosechas de los productos mas característicos</i>												
CULTIVO	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic
Alcachofa												
Puerro												
Ajo												
Coliflor												
Acelga												
Tomáte												
Escarola												
Pepino												
Haba												
Berro												
Espárrago												
Calabacín												
Pimiento												
Espinaca												
Apio												
Rábano												
Ciruela												
Cereza												
Manzana												

También tienen una presencia las plantas ornamentales. En este sentido cabe destacar que la producción de rosas en Sant Feliu fue pionera de la agricultura ornamental de Cataluña.

La pérdida de valor territorial del espacio agrícola periurbano, demasiado a menudo va acompañada de la desaparición de variedades tradicionales.

Con la voluntad de recuperación y mantenimiento del patrimonio genético agrícola del Parque Agrario que suponen las variedades tradicionales de frutales, se realizó una prospección de campo para localizar variedades tradicionales de frutales, con el apoyo de un programa LIFE de la Unión Europea y el equipo investigador del IRTA (Instituto de Investigación y Tecnología Agroalimentaria) de la Generalidad de Cataluña. El resultado fue la constitución de un Arboretum en la finca de Can Comas, formado por una colección de especies de frutales con 62 variedades, ocupando una superficie de 1,8 ha.

Actividades económicas

Estructura productiva y empresarial

La superficie agraria utilizada (SAU) en la comarca del Baix Llobregat es de 4.708 hectáreas que se reparten, aproximadamente, en dos mitades, una de cultivo de regadío y otra de secano. El 43% son tierras cultivadas en régimen de propiedad. La tabla nº 6.5 muestra la población agraria ocupada de Cataluña (Parc Agrari, 2011).

Tabla 6.5 Población ocupada agraria y peso relativo respecto al total de ocupados agrarios de Cataluña (Parc Agrari, 2011)

Población ocupada agraria y peso relativo				
	1990	Peso relativo/total	2001	Peso relativo/total
Baix Llobregat	2.145	2,78%	2.175	2,88%
Cataluña	77.015		75.500	

El número de explotaciones agrarias de la comarca, que ocupan a un total de 2.200 personas (el 62% titulares y familiares), es de 958 de las cuales el 73% tienen menos de 5 hectáreas.

En lo referente al Parc Agrari, el número de explotaciones, que ocupan a un total de 1.200 personas se valoran en 621, con una superficie mediana de 2,7 hectáreas. Éstos, que representan el 75% de los titulares y familiares, tienen una dedicación plena a la explotación agraria. La tabla nº 6.6 muestra la producción hortícola del Parc Agrari del Baix Llobregat.

Tabla 6.6 Cuantificación de la producción hortícola (Departamento de Agricultura, Alimentación y Acción Rural)

Cultivo	% SAU	Precio medio productor (€/tn)	Producción (kg/ha)	Producción estimada (tn)	Valor de producción (€)
Acelgas	25,8	364,28	24551	1483,1	540.273,11
Alcachofas	40,9	564,20	12706	3300,6	1.862.219,75
Berenjenas	64,4	530,00	24592	1125,1	596.294,52
Lechugas	8,9	379,80	29113	1331,1	505.863,12
Calabacín	55,1	370,30	49422	2261,1	837.269,22
Coliflores	15,7	461,20	22959	1050,4	84.432,60
Coles	15,7	310,50	24952	1141,6	54.452,52
Brócolis	15,6	510,10	22959	1048,5	534.858,99
Puerros	36,8	605,10	23355	1066,2	645.130,84
	16,1	844,30	14963	683,1	576.708,36
Pepinos		471,30	33690	1537,9	724.835,13
Espinacas	30,4	735,70	15980	729,5	536.683,59
Espárrago		3684,70	6667	304,3	1.121.433,10
Judía verde	12,8	1477,10	12464	569,0	840.442,72
Rábanos	76,1	300,00	16200	739,5	221.859,00
Aceituna		350,00	24000	204,7	71.652,00
Tomates	1,4	622,30	36967	236,2	146.999,16
Estimación del valor total de producción					10.601.407,74

En el ámbito del Parque Agrario, en el 63% se cultivan hortalizas y en el resto, fundamentalmente, árboles frutales. El cultivo en invernadero ocupa una superficie de 23

hectáreas (1,2% del Parque Agrario) distribuidas en 29 explotaciones agrarias con una superficie mediana de 4.700 m².

En la actividad ganadera, destaca el ovino con 13.922 cabezas que suponen una mediana de 28,1 cabezas/km², mediana ligeramente superior a la de Cataluña que es de 27,1 cabezas/km².

El PIB del sector primario

El PIB agrario de la comarca del Baix Llobregat tiene un peso relativo pequeño respecto al del conjunto comarcal: el 0,7% que supone la cantidad de 77 M€ sobre un total del 120.000 M€ del conjunto de sectores productivos comarcales (datos del año 2004). El crecimiento del sector primario presenta un acumulado, para el periodo 2000-2004, del 6,08% aproximadamente, tres veces más que el correspondiente al conjunto de la economía agraria de Cataluña (2,11%) y la mitad del PIB del conjunto de sectores productivos de la comarca que se sitúa en 11,88% en el Baix Llobregat.

Mientras la SAU de la comarca del Baix Llobregat durante el periodo 1990-2004 disminuye un 64% (de 7.331 hectáreas a 4.708 hectáreas), el PIB se incrementa un 255% pasando de ser de 6.411 €/ha a 16.355 €/ha. La tabla nº 6.7 muestra el peso relativo del PIB agrario con respecto al de Cataluña.

Tabla 6.7 Peso relativo del PIB agrario de la comarca del Baix Llobregat respecto al PIB agrario de Cataluña (Parc Agrari, 2011)

Población ocupada agraria y peso relativo				
	1990 (en M€)	Peso relativo/total	2004 (en M€)	Peso relativo/total
Baix Llobregat	47	4,30%	77	3,8%
Cataluña	1.084		2.040	

La estructura del PIB agrario de la comarca, por productos, corresponde a fruta fresca y hortalizas en un 80%, distribuidas en un 63% de hortalizas y un 17% de fruta. El resto se distribuye en diversas producciones agrícolas y ganaderas. Un tercio del valor del conjunto de las producciones hortícolas de la demarcación de Barcelona corresponde a la comarca del Baix Llobregat y la mitad de la producción de fruta fresca.

Capítulo 7 Aspectos económicos del riego con agua residual municipal regenerada

El principio de recuperación de los costes de los servicios relacionados con el agua, incluyendo los costes medioambientales y los costes privados del recurso es uno de los elementos regulatorios introducidos por la Directiva 2000/60/CE, del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de octubre de 2000 (DMA). Establece el marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de agua, en relación con las aguas superficiales, continentales, de transición, aguas costeras y subterráneas, con el fin de prevenir y reducir su contaminación, fomentar su uso sostenible, proteger el medio acuático, mejorar la situación de los ecosistemas acuáticos y paliar los efectos de las inundaciones y de las sequías. Dentro de este contexto, el principio de recuperación de costes es uno de los mecanismos regulatorios de este marco legal establecido por la DMA para la protección de los recursos hídricos, y en particular, para promover el uso sostenible del agua. (Lopez de Castro, 2011).

La DMA indica claramente que los Estados miembros deberán garantizar que el precio cobrado a los consumidores de aguas residuales debe reflejar los verdaderos costos de producción de aguas residuales, dentro de los cuales están: los Costes de Inversión, los de Explotación y Mantenimiento, los Costes Financieros, los Impuestos, las Externalidades Positivas, las Externalidades Negativas y el Costo de Oportunidad

Es por ello que, establecer el coste y el precio del agua regenerada es importante en el diseño y explotación de un sistema de Regeneración y Reutilización de Aguas Residuales (SRRAR). Si bien es cierto que se puede tener una aproximación detallada del coste privados de un SRRAR, no sucede lo mismo con el precio del agua regenerada, ya que no existe un mercado de agua regenerada que permita determinarlo. El único valor de referencia es el precio del agua de las fuentes convencionales, pero éste no incluye todos las externalidades que conllevan la regeneración y reutilización de aguas. (Segui, 2004).

En este capítulo se realiza la valoración económica del SRRAR Depurbaix mediante la metodología análisis costo-beneficio (ACB) desde el punto de vista social, incluyendo todos los costes asociados de la regeneración y reutilización del agua para su uso como sustitución del agua de riego agrícola en el Par Agrari del Baix Llobregat.

Para los agricultores, los resultados de los análisis de costo-beneficio indican que el valor añadido de la utilización de aguas regeneradas de las ciudades proviene de la reducción de los costos de bombeo de agua dulce, por ejemplo, de los ríos. Además, los agricultores pueden recibir un suministro más confiable de agua de riego y es necesario menos fertilizantes porque las aguas residuales pueden ser ricos en nutrientes. (Heinz et al, 2011).

Metodología de análisis costo-beneficio

El marco metodológico para la valoración económica de los Sistemas de Regeneración y Reutilización de Agua desarrollado por el grupo multidisciplinario “Recycled Water Task Force” (Katz, 2003), se basa en los siguientes puntos:

1. Identificar los impactos que deberán ser considerados en el análisis de la viabilidad económica, basado en las ventajas y costes reales del Sistema de Regeneración y Reutilización Agua Residual (SRRAR)
2. La revisión de los impactos ya existentes con base en el punto anterior y la agregación de nuevos impactos que consideren los expertos deben ser tomados en cuenta
3. Desarrollar un procedimiento práctico y viable para valorar económicamente las ventajas y costes de aquellos impactos que no tienen valor de mercado
4. Desarrollar los mecanismos que permitan favorecer los esquemas equitativos del financiamiento basado en las ventajas y los costes
5. Desarrollar una guía metodológica para el análisis de viabilidad económica del SRRAR.
6. Desarrollar los mecanismos de información del análisis de la viabilidad económica que soporten el posterior análisis financiero y la toma de decisión
7. Desarrollar las metodologías apropiadas para comparar los costes marginales de producir agua reciclada versus el coste de obtener una cantidad de agua equivalente de agua proveniente de otras fuentes de suministro

Este marco metodológico, permite desarrollar una metodología de valoración que incluya los costes y beneficios privados que pueden ser medidos en términos financieros y las externalidades del SRRAR mediante el análisis de los impactos positivos y negativos que afectan al mismo. El análisis técnico-económico se realiza mediante la maximización de la diferencia entre los ingresos y los costes asociados a la producción de agua regenerada. Los pasos a seguir para realizar el análisis económico del proyecto se presentan en la figura nº 1 del Anexo II.

En esta maximización, se consideran tanto los impactos privados como los impactos externos, tal y como se aprecia en la ecuación 5.1.

$$MAX B_{T=\sum_{n=0}^n} [(VAR_n * PV_n) - (CI_n + CEM_n + CF_n + IMP_n) + (EP_n - EN_n) - CO_n] \quad (5.1)$$

De donde:

- BT = Beneficio Total
- VAR = Volumen anual de Agua Regenerada
- PV = Precio de Venta del Agua Regenerada
- CI = Costes de Inversión
- CEM = Costes de Explotación y Mantenimiento
- CF = Costes Financieros
- IMP = Impuestos
- EP = Externalidades Positivas del impacto
- EN = Externalidades Negativas del impacto
- CO = Coste de Oportunidad
- n = Año

Definición del ámbito de estudio

La cuenca hidrográfica deberá ser el ámbito de estudio inicial y más general de análisis (Dourojeanni, 1999).

En este caso, la cuenca hidrográfica del Llobregat se encuentra situada al Noreste de la Península Ibérica, ubicada en la región de Catalunya y constituye el eje central de la provincia de Barcelona (ver figura nº 7.1). El río Llobregat nace en el extremo Norte de la provincia de Barcelona, en el municipio de Castellar de N'Hug, a 1295 m.s.n.m y hace su recorrido hasta desembocar en el mar Mediterráneo. Tiene una longitud de 156.5 Km y una extensión total de la cuenca de 4948 Km².

A unos 2 Km aguas debajo de Martorell el valle se ensancha fertilizando una extensa vega de depósitos cuaternarios que constituyen el eje central de la comarca del Baix Llobregat. Aproximadamente a unos 3 Km antes de Molins de Rei, desemboca la riera del Rubí. Debido a su elevada carga contaminante, es conducido mediante un canal hasta la altura del término municipal de Sant Joan Despí.



Figura 7.1 La cuenca del río Llobregat (Agbar, 2012)

El Prat de Llobregat se encuentra ya propiamente en el delta, el cual abarca unos 90 Km² de superficie. El agua superficial tiene una elevada mineralización y una determinada contaminación orgánica y microbiológica. Estas características hacen que, para que se convierta en potable, sea necesario aplicarle un tratamiento intensivo y sofisticado, el cual se realiza en las ETAP's de Abrera y Sant Joan Despí. De la cual se extrae el 52% del agua que se utiliza en el Área Metropolitana de Barcelona (Fuente interna Agbar, datos del 2008)

Luego, el saneamiento de las aguas residuales que son recolectadas por una red de 250 km de colectores metropolitanos, son depuradas en 7 estaciones depuradoras de aguas residuales (EDAR's), con un caudal de tratamiento de 1.200.000 m³/d (55% de Cataluña).

La depuradora de El Prat Llobregat, ubicada en el Delta del Baix Llobregat, es una de las plantas de saneamiento de aguas residuales más grandes y modernas de Europa. Puede tratarse 420 millones de litros al día, el equivalente al uso de agua de 2.000.000 de habitantes y las actividades económicas asociadas (habitantes equivalentes).

La EMA-AMB y la ACA han gestionado la ERA del Baix Llobregat para la reutilización del efluente de la depuradora. La inversión total necesaria (incluyendo la barrera contra la intrusión salina) es de 100 millones de euros.

Los principales usos previstos de las aguas regeneradas del Sistema de Regeneración y Reutilización de Aguas Residuales Depurbaix se muestran en la tabla nº 7.1, a continuación.

Tabla 7.1 Principales usos del agua regenerada (EMA-AMB, 2010)

Usos del agua regenerada	Caudal (m ³ /s)	Volumen anual (hm ³)
Mantenimiento del caudal ecológico y recarga de acuífero del río Llobregat	2	29
Riego agrícola en el Parc Agrari del Baix Llobregat	0,75	11,8
Mantenimiento de las zonas húmedas en la desembocadura del río Llobregat	0,4	4,8
Barrera contra la intrusión salina en el acuífero profundo del Delta del Llobregat	15.000 (m ³ /d)	
Riego de zonas verdes, usos públicos y usos industriales	n.i	n.i
TOTAL	3,25	50

(n.i): no se informa el caudal destinados a estos usos

Las instalaciones de regeneración (figura nº 7.2) están diseñadas para un caudal total de 3,25 m³/s. Actualmente ya se está realizando el caudal ecológico del río Llobregat y el mantenimiento de las zonas húmedas y, teniendo en cuenta la sequía del 2008, también se ha abastecido el riego agrícola realizando un control exhaustivo de la conductividad del agua.



Figura 7.2 Ubicación de la EDAR y ERA Depurbaix (EMA-AMB, 2010)

El Principal usuario del riego agrícola es el Parc Agrari del Baix Llobregat. El Parc Agrari se encuentra al poniente de Barcelona en el valle bajo y delta del río Llobregat, por el cual se abastece de agua para el riego mediante dos canales, el de la Infanta Carlota (1819) y el de la Derecha (1858). Se trata de una zona con una amplia tradición horto-frutícola que, durante muchos siglos, ha sido el suministrador principal de frutas y verduras frescas a la ciudad de Barcelona.

Los Impactos del proyecto

A continuación se identifican los impactos asociados al proyecto de regeneración y reutilización del agua residual urbana que es producida en la ERA Depurbaix, con la finalidad de ser utilizada en el riego agrícola del Parc Agrari del Baix Llobregat. El análisis de los impactos se describe en la tabla nº 7.2. Los impactos se clasifican en:

- **Impactos positivos**

Son aquellos que generan ingresos o beneficios sociales, como: el incremento de los recursos hídricos disponibles, la mejora de la calidad del agua de las zonas húmedas en el Delta del Llobregat, aumento de la garantía de suministro, la aportación de nutrientes (nitrógeno y fósforo) a la agricultura, el uso lúdico de los humedales del Delta del Llobregat, la recuperación del paisaje y mejora ambiental del entorno, y el aporte a la cultura del agua (aceptación de la reutilización del agua regenerada).

- **Impactos negativos**

Son aquellos que generan gastos o rechazo social, como: la instalación y construcción de la infraestructura necesaria para la regeneración y reutilización (costes privados de la ERA), las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) al ambiente por la operación del sistema, la agregación de metales pesados a la agricultura, el rechazo social de la reutilización del agua residual urbana depurada y la generación de agua de rechazo en el tratamiento por membranas (EDR).

Tabla 7.2 Análisis de los impactos considerados dentro de la investigación (elaboración propia. Referencia, Seguí, 2004)

Grupo de Impacto	Impactos Implicados	Identificación		Periodicidad		Cuantificación	
		Negativo	Positivo	Negativo	Positivo	Negativo	Positivo
Infraestructura hidráulica	Regeneración y reutilización del agua residual	Producción y distribución de agua regenerada		Inversión inicial y durante la vida útil del proyecto		50 hm ³ anuales de agua regenerada	
Acondicionamiento y reutilización de contaminantes	Fertilizantes (N y P)		Aporte de nutrientes agrícolas		Durante la vida útil de proyecto		59.000 UF/año
	Salinidad y metales pesados a la agricultura	Disminución de la producción agrícola		Durante la vida útil del proyecto		No cuantificado	
	Fangos		Aporte de nutrientes agrícolas		Durante la vida útil del proyecto		No cuantificado
Usos del recurso	Cantidad de agua	Oportunidad de disponer agua para otra actividad más rentable	Aumento de la disponibilidad del recurso	Durante la vida útil del proyecto	Durante la vida útil del proyecto	50 hm ³ anuales de agua regenerada	50 hm ³ anuales de agua regenerada
	Garantías de suministro		Fiabilidad en el suministro de agua				100% de garantía de suministro
	Calidad del agua		Confiabilidad en la calidad del agua regenerada				<90% confianza en la calidad producida
La salud pública	No Aplica						
Medio Ambiente	Contaminación de masas de agua		Mejoras en la calidad del agua de baño marina por reducción de vertidos		Durante la vida útil del proyecto		No cuantificado
	Emisiones de CO ₂	Emisiones de CO ₂ por consumo energético		Durante la vida útil del proyecto		0,03 kg de CO ₂ /m ³	
	Rechazo salino		Afectación a la flora y fauna marina		Durante la vida útil del proyecto		No cuantificado
Educación	Rechazo social	Rechazo a la reutilización del agua regenerada		Inicio del proyecto		No cuantificado	
	Cultura del agua		Sensibilización a la cultura de regenerar y reutilizar el agua residual		Durante la vida útil del proyecto		No cuantificado

A continuación se detallan las principales características por cada grupo de impactos analizados:

- **Infraestructura hidráulica.** Se refiere a los efectos relacionados con la implantación y explotación de la infraestructura relacionada con la producción y distribución de agua regenerada (Seguí, 2004). Se consideran todos los costes privados de inversión, explotación y mantenimiento del sistema de regeneración y reutilización. Su determinación es producto de los presupuestos del proyecto.
- **Acondicionamiento y reutilización de contaminantes.** En este grupo de impactos están considerado la posibilidad de reutilización y comercialización de componentes del agua residual en usos agrícolas, como:
 - 1) El nitrógeno y fósforo existente en el agua regenerada. Los elementos nutritivos presentes proporcionan un aporte de fertilizantes a los cultivos. No obstante, este aporte puede sobrepasar las necesidades de las plantas en determinados casos y pueden provocar un crecimiento vegetativo excesivo, una maduración tardía o desigual de los frutos, o una calidad inferior de éstos. (mujeriego, 1990)
 - 2) La salinidad y metales pesados presentes en el agua. El regadío con aguas con una conductividad eléctrica de 3,0 dS/m, obligaría a adoptar decisiones drásticas como la sustitución de los cultivos sensibles a la salinidad por otras más tolerantes. Los cultivos sensibles a las sales muestran reducciones drásticas de la productividad. Por el lado de los metales pesados, ninguno de los elementos que se abordan en el Real Decreto 1620/2007 (ver tabla nº 5.1), son fitotóxicos cuando su concentración esta bajo el valor máximo admisible y por lo tanto el agua puede considerarse apta para el riego. Pero, la utilización repetida de un agua cuyas características excedan los valores recomendados podría provocar un aumento progresivo de estos elementos en el suelo hasta alcanzar un nivel capaz de provocar fitotoxicidad. (Mujeriego, 1990)
 - 3) Los fangos. Los fangos procedentes de las purgas del tratamiento físico-químico y del lavado de filtros, se conducen a un depósito de almacenamiento para su posterior bombeo al canal de salida de los desarenadores de la EDAR. El lodo producido por las cantidades de proceso de regeneración a 9% del flujo de agua tratada, alcanzando una concentración media de 450 mg/l. El uso final del lodo seco producido es principalmente para la recuperación de energía en los hornos de producción de cemento y también para el uso como fertilizante en la agricultura.
- **Usos del recurso.** Este grupo de impactos está relacionado con los efectos originados por el aumento en la disponibilidad, la calidad y la garantía de suministro del agua dentro de la zona de estudio. La producción de agua regenerada permite incrementar en 50 hm³ anuales el recurso hídrico de la zona. De este volumen, 12 hm³ anuales se destinan a los agricultores del Parc Agrari como agua de sustitución de la proveniente de los embalses del Llobregat. El SRRAR Depurbaix suministra la cantidad de agua necesaria, en la calidad requerida y además con un 100% de garantía en el suministro.

- **La salud pública.** Dentro de este grupo de impactos se encuentran las posibles afecciones que los contaminantes físico-químicos y biológicos pueden causar a la salud pública de los habitantes de la región. Se considera que las prácticas sanitarias alcanzadas en la SRRAR Depurbaix minimizan el riesgo en la salud pública de los habitantes de la zona.

- **Medio Ambiente.** En este grupo se analizan los impactos asociados a la contaminación de las masas de agua y las emisiones de CO₂. La depuración de las aguas que son vertidas al cuerpo receptor permite el saneamiento de las aguas en el último tramo del río Llobregat y la mejora de las playas comprendidas entre el puerto de Barcelona y el macizo del Garraf. El tratamiento de aguas mediante EDR generan un rechazo salino que es vertido al mar mediante el emisario submarino, que debido a su alta concentración de sales disueltas puede generar un aumento de la salinidad del mar en la zona de descarga afectando la flora y fauna del entorno (especialmente la Posidonia Oceánica). Sin embargo, la zona marítima del Delta del Llobregat no presenta poblaciones significativas por lo cual el impacto es limitado. Con respecto a las emisiones de CO₂ a la atmósfera, debido al consumo eléctrico adicional de la ERA, impactan el medio ambiente aumentando la concentración de gases de efecto invernadero provocando un efecto negativo sobre el calentamiento global del clima. Las emisiones se valoran económicamente mediante el mercado de bonos de carbono, el cual define el precio de la tonelada de CO₂ emitida a la atmósfera.

- **Educación.** Los impactos asociados a este grupo consideran la repercusión debido a la sensibilización hacia la cultura del agua y al rechazo social a la reutilización de aguas residuales regeneradas. El SRRAR Depurbaix permite fomentar las fuentes alternativas de suministro de agua y dar los máximos usos posibles, generando conciencia en la población de que se trata de un recurso escaso y que se puede ahorrar y optimizar su consumo, especialmente en períodos, por ejemplo, de sequía. El SRRAR Depurbaix ejecuta el programa "Compartimos un futuro" para fomentar las visitas y compilar material de apoyo para estas consultas (folletos y documentación técnica), en función de los visitantes. En el 2010, El Prat de Llobregat dio la bienvenida a las instalaciones de un total de 2.300 visitantes en 163 visitas guiadas. El rechazo social podría ser por parte de los agricultores del PARC Agrari, quienes no permitirían la sustitución del agua del canal de la derecha por agua regenerada. Estos impactos son de difícil valoración por lo que no se cuantifican en este estudio.

Identificación de los agentes implicados

Los agentes implicados en este estudio son:

- La Entidad Metropolitana del Medio Ambiente del Área Metropolitana de Barcelona (EMA-AMB), aportando un 85% del financiamiento, con la ayuda de los Fondos de Cohesión de la Unión Europea, y la Agencia Catalana del Agua (ACA, aportando el 15% restante.
- Empresa Metropolitana de Saneamiento, S.A. (EMSSA), quien gestiona el saneamiento y el tratamiento del agua del Sistema de Regeneración y Reutilización de Agua Residual (SRRAR) Depurbaix (o EDAR-ERA del Baix Llobregat).
- Los usuarios finales del agua regenerada. Los agricultores del El Parc Agrari del Baix Llobregat.

Todos ellos descrito con más detalles en los capítulos anteriores.

Estudio de las necesidades financieras

El proyecto recibió por parte de los Fondos de Cohesión de la Unión Europea una financiación del 85% para la construcción del SRRAR Depurbaix. La ACA, aporta el 15% restante.

El 100% del capital inicial se considera como una financiación a fondo perdido, por lo que no se contempla su recuperación.

Agregación de los costes e ingresos

Infraestructura hidráulica

Las instalaciones de regeneración de agua y las conducciones para el transporte y distribución de agua regenerada, para los diferentes usos de reutilización fueron construidas entre 2005 y 2010. La tabla nº 7.3 muestra las inversiones, con los valores actualizados al 2011. También muestra los costos unitarios por metro cúbico de su producción anual, o la capacidad de transporte de diseño.

La efectividad del SRRAR Depurbaix depende de la efectiva operación y administración del sistema de tratamiento de la EDAR. Esto permite separar el costo de depuración de los costes del sistema de regeneración de aguas residuales. Esto permite cobrar a los usuarios del agua potable los costes de explotación y mantenimiento (CEM) incurridos en la depuración, bajo la primicia de que son ellos los que la contaminan. Los costes de inversión (CI) se sufragarán con fondos públicos, considerándolos como un fondo de préstamos perdidos.

Tabla 7.3 Costos de inversión de la ERA Depurbaix según capacidad instalada, actualizado al 2011 (Conill et al, 2011)

Infraestructura	Inversión (M€) ^(*)	Capacidad instalada (hm ³ /año)	Costo unitario por capacidad instalada (€/m ³)
Tratamiento convencional			
Sedimentación, filtración t desinfección	31,8	110,4	0,29
Tratamiento avanzado			
Ultrafiltración y OI ^(**)	19,5	5,5	3,55
Filtro de arena y EDR	14,3	23,6	0,61
Conducciones de agua regenerada	35,5	106,6	0,33

^(*) IVA no incluido

^(**) Incluidos en la inversión, 15 pozos para barrera a la intrusión salina

Como podemos ver en la tabla nº 7.3, los costes unitarios de SRRAR Depurbaix están calculados en base a la capacidad instalada de la planta. Sin embargo, los CEM reales deben ser calculados en base a la cantidad de agua producida por el sistema. La diferencia de caudal tratada es debida a que la planta no opera generar la totalidad de la capacidad instalada ya que todas la demandas, excepto la barrera contra la intrusión salina, son estacionales y sólo son requeridas en tiempo seco, siendo necesario un volumen de 50 hm³ en un año de pluviometría media (Infoenviro, 2006). La tabla nº 7.4 muestra los costos privados del SRRAR con respecto al caudal real producido.

Tabla 7.4 Costos de inversión de la ERA Depurbaix según caudal real de regeneración

Infraestructura	Inversión (M€) ^(*)	Volumen regenerado (hm ³ /año)	Costo unitario (€/m ³)
Tratamiento convencional			
Sedimentación, filtración t desinfección	31,8	50	0,64
Tratamiento avanzado			
Ultrafiltración y OI ^(**)	19,5	4,4	4,43
Filtro de arena y EDR	14,3	11,8	1,21
Conducciones de agua regenerada	35,5	29	1,22

La tabla nº 7.5 muestra los costos operativos fijos y variables de cada uno de los tres procesos de regeneración de agua del SRRAR Depurbaix.

Tabla 7.5 Costes de operación de la ERA Depurbaix desde 2007 (Conill et al, 2011)

Infraestructura	Costes fijos (€/año)	Costos variables (€/m ³)	Costes EM (M€/año)
Tratamiento convencional			
Sedimentación, filtración t desinfección	357.000	0,0285	1,782
Tratamiento avanzado			
Ultrafiltración y OI ^(**)	323.000	0,1375	0,928
Filtro de arena y EDR	440.000	0,1130	1,773
Conducciones de agua regenerada	226.000	0,0131	0,606

Con esta información, se procede a determinar el costo por metro cúbico que se considera igual al Precio Mínimo de Venta (PMV), que garantiza la recuperación de costos en los años de vida útil.

El PMV se define como el precio mínimo al cual el agente debe vender el agua regenerada para garantizar la recuperación de los costes y el beneficio esperado, de tal forma que la inversión realizada sea rentable bajo el criterio del Valor Actual Neto (VAN). En un proceso de optimización y cuando el mercado presenta condiciones de competencia perfecta, se puede considerar a este coste por metro cúbico como una aproximación del Coste Marginal (CMg). (Seguí, 2004)

Los costos privados se añaden al modelo para obtener el costo por metro cúbico utilizando los criterios expuestos en la tabla n° 7.6.

Tabla 7.6 Datos iniciales para ejecución del modelo (elaboración propia. Referencia Seguí, 2004)

Características propias del proyecto	Unidad	Cantidad
Administrador	Entidad Metropolitana de Saneamiento S.A. (EMSSA)	
Capacidad Instalada	m ³ /s	3,25
Coste de Inversión	M€	101,1
Coste explotación y mantenimiento	M€/año	5,089
Vida útil del proyecto	año	20
Tasa de descuento del proyecto (real)	%	8,39 ^(a)
IMPUESTOS		
Impuesto ^(b)	%	35
Depreciación fiscal detallada (lineal) ^(c)		
✓ Obra civil	%	3,0
✓ Equipamiento electromecánico	%	5,0
FINANCIERA		
Deuda	%	0
Capital	%	100
Total	%	100
^(a) Producción y Distribución de energía Eléctrica, Gas y Agua. Ratios Económico-financieros. Período 1996-200. Departament d'Economia i Finances (2003). ^(b) Ley 43/1995, de 27 de Diciembre, del Impuesto sobre Sociedades, Ley 50/1998, de 30 de diciembre y Ley 14/2000, de 29 de diciembre, de Medidas fiscales, administrativas y del orden social. Agencia Tributaria (2011) ^(c) Tabla de coeficientes De Amortización. División 1. Energía y Agua. Agrupación 16. Captación, Depuración y Distribución de Agua. Reglamento del Impuesto Sobre Sociedades Título I La base imponible Capítulo I. Amortizaciones. Agencia Tributaria (2011)		

El precio mínimo de venta para recuperar todos los costes privados se ha calculado a través del algoritmo presentado en la figura n° 2 del Anexo II, arrojando un valor de 0,1897 €/m³. Este valor permite que la inversión realizada sea rentable según los criterios del valor actual neto (VAN), suponiendo que se cobra a todos los usuarios del agua regenerada.

Sin embargo, considerando que los agricultores del Parc Agrari no están dispuestos a pagar un valor mayor del que pagan en estos momentos por el canon de regulación, se calcula un nuevo precio mínimo de venta diferenciando a los usuarios. De tal manera que 11,8 hm³ destinados al riego agrícola mantiene el precio de 0,00179€/m³ y el resto, 38,2 hm³, se le debe aplicar una tarifa de 0,2693 €/m³.

Valor de fertilizantes

En el 60% de la zona del Parc Agrari del Baix Llobregat se registra un contenido de materia orgánica superior al 4%. Conjuntamente a otros valores de las analíticas realizadas al suelo anualmente, desaconsejan la fertilización nitrogenada en esta zona. (Departamento técnico del Parc Agrari, 2009).

El contenido de nitrógeno del agua regenerada se estima en 10 mg/l de N. De este total, solo la fracción de nitratos presentes en la disolución es absorbida por el cultivo. En general, la asimilación de nitrógeno aportado tiene una eficiencia que no supera el 50% (Mujeriego, 1990).

La concentración de fósforo en el efluente del sistema secundario de la depuradora se estima en 15 mg/l de P₂O₅. No obstante la aportación de fósforo se acumula gradualmente en el suelo, disminuyendo la necesidad de aportar cantidades de este fertilizante en diferentes años sucesivos (Mujeriego, 1999).

Para cuantificar la aportación de nutrientes por el agua regenerada utilizada en el riego, se considera el 40% de la superficie hortícola útil. La necesidad de fertilizantes de los cultivos regados, es de 240 unidades fertilizantes (UF), por hectárea y año. La tabla n° 7.7, muestra la cuantificación de las necesidades de fertilizante en el Parc Agrari.

Tabla 7.7 Cálculo de la cantidad de fertilizante

Características	Valor	Unidad
Valor medio necesario	240	UF (N/ha.año)
Superficie hortícola útil	1.243	ha
Superficie con necesidad de fertilizante	497	ha
Necesidad de fertilizante	119.280	UF/año

Considerando los datos de caudal, concentración, aportación de UF y su valor comercial que se presentan en la tabla n° 7.8, se calcula la aportación económica en fertilizantes por el agua regenerada.

Tabla 7.8 Aportación económica del agua regenerada en términos de fertilizante

Característica	valor	unidad
Período de riego medio	9	meses
Caudal instantáneo	0,75	m ³ /s
Caudal anual	11,8	hm ³
Aportación de N del agua regenerada	10	mg/l
Aportación de UF	0,01	UF/m ³
Aportación anual UF	118.000	UF
Taza de absorción del cultivo	50	%
Valor teórico de UF	59.000	UF
Valor económico de la UF	2,32	€/UF

La aportación anual de unidades de fertilizante del agua regenerada es de 118.000 UF, de las cuales el cultivo puede aprovechar el 50%. Por lo tanto la aportación económica se valora en 136.879 €.

El otro 50% de UF que no son absorbidos por los cultivos, podría impactar negativamente en la zona de riego. Según el Proyecto de decreto de aprobación del programa de actuación aplicable a las zonas vulnerables en relación con la contaminación de nitratos que proceden de fuentes agrarias y de gestión de las deyecciones ganaderas, de la Generalitat de Cataluña, la zona del Parque Agrario del Baix Llobregat no se encuentra dentro de las zonas vulnerables, por lo tanto este impacto sería limitado.

Aumento en la disponibilidad del recurso

La producción de agua regenerada permite un aumento de la disponibilidad de 50 hm³ anuales del recurso en la zona. De este volumen, 11,8 hm³ anuales se destinan a los agricultores del Parc Agrari como sustitución de la proveniente de los embalses del Llobregat. El resto, 38,2 hm³ se destinan a usos ambientales promovidos por la ACA.

A los agricultores se les aplicará una tarifa de uso por estas aguas que no le supone un aumento de los costos de obtención del recurso respecto a la situación actual. Los agricultores que riegan con agua proveniente del canal de la derecha del río Llobregat pagan por concepto de canon de regulación, una tarifa media de 0,00179 €/m³ de agua. Este canon es el tope máximo que el agricultor está dispuesto a pagar por el agua regenerada. Por otro lado, el PMV (determinado anteriormente), es de 0,2693 €/m³. El cálculo del ingreso se realiza de la siguiente manera:

- ✓ Ingreso por venta de agua a los agricultores:

$$11,8hm^3 \times 0,00179 \text{ €/m}^3 = 0,021 \text{ M€}$$

- ✓ Ingreso por la venta del resto del agua regenerada a otro usuario:

$$38,2hm^3 \times 0,2693 \text{ €/m}^3 = 10,29 \text{ M€}$$

Por lo cual, el ingreso por el aumento de la disponibilidad del recurso asciende a 10,311 M€.

Confiabilidad en la calidad del agua regenerada

La cuantificación de este impacto se realiza considerando que si no existiera la etapa de eliminación de la salinidad excesiva, la disminución de los microelementos, los sólidos suspendidos y contaminantes microbianos, la calidad del agua regenerada proveniente de Depurbaix podría provocar pérdida de producción de los agrícolas del Parc Agrari.

Los impactos del uso de agua regenerada en la agricultura se clasifican en tres tipologías:

- Efectos sobre el cultivo: provocados principalmente por la salinidad y metales pesados, debido a la sensibilidad de algunos cultivos.
- Efectos sobre el suelo y el acuífero superficial: provocados por la alta concentración de nutrientes (N y P), que al no ser asimilados por el cultivo, se acumulan gradualmente saturando el suelo y contaminando al acuífero.
- Efectos sobre el sistema de regadío: la presencia de sólidos suspendidos y contaminación microbiana provocan incrustaciones en el sistema de regadío, obturándolos e impidiendo el paso del agua.

De la tabla nº 6.6, se extrae que el valor de producción del Parc Agrari se valora en 10,6 M€/m³. En un caso extremo, la presencia de sales y metales pesados en el agua regenerada utilizada para el riego podría llegar a provocar la pérdida total de la cosecha de los agricultores. Por lo tanto, se considera que el tratamiento avanzado de EDR se justifica para asegurar la calidad del agua regenerada ya que se minimiza el riesgo de la pérdida de producción agrícola.

Emisiones de CO₂

Para la valoración del impacto de las emisiones de CO₂ asociados al consumo energético por el tratamiento de regeneración y reutilización, se estima que el SRRAR Depurbaix presenta un consumo de energía al año 2010 de 0,18 kWh/m³ y por cada kWh se emite un total de 166 gramos de CO₂. El costo unitario de emisiones del tratamiento terciario, se calcula de la siguiente manera:

$$0,18 \frac{kWh}{m^3} \times 0,166 \frac{gCO_2}{kWh} = 0,03 \frac{kgCO_2}{m^3}$$

Teniendo en cuenta la conversión de kWh a Kg de CO₂ (0,166 Kg/kWh) y que el valor medio del mercado de compra-venta en el 2010 es de 17,9 € por tonelada de CO₂, se calcula el valor anual de esta manera:

$$0,03 \frac{kgCO_2}{m^3} \times 50 \frac{hm^3}{año} \times 17,9 \frac{€}{tCO_2} = 26.850 \frac{€}{año}$$

Realizando las conversiones de unidades necesarias, se obtiene un costo de 26.850 € anuales.

Coste Oportunidad

Cuando existan varias alternativas para la reutilización del agua regenerada, el coste de oportunidad estará dado por aquel uso que proporcione el mayor rendimiento económico, siempre y cuando estos rendimientos sean más altos que los de un instrumento financiero. (Seguí, 2004)

Las necesidades de agua del sector industrial de la zona de estudio, que pueden ser abastecidas con agua regenerada son del orden de 8 hm³ anuales. El precio máximo que estarían dispuestos a pagar por el suministro sería de 0,6€/m³, que es lo que cuesta obtener un metro cúbico de agua desalada. En este caso no se considera la economía de escala de abastecer a la zona industrial, y el coste de desalar es referente a la producción a gran escala. Por lo tanto, el importe que los industriales estarían dispuestos a pagar, para garantizar el suministro, es de 4,8 millones de euros anuales:

$$8hm^3 \times 0,6 \text{ €/m}^3 = 4,8 \text{ M€}$$

Por lo tanto, el coste de oportunidad en este caso es la diferencia entre el ingreso máximo cobrado a los agricultores menos el ingreso cobrados al sector industrial, valorizado en 4,779 M€ anuales.

Beneficio total

El objetivo central del análisis económico del SRRAR es la maximización del beneficio total. Esta maximización se obtiene de los beneficios privados, los beneficios de las externalidades y el coste de oportunidad, de tal forma que la función objetivo a maximizar es:

$$MAX B_T = B_P + B_E - CO \quad (5.2)$$

De donde:

BT = Beneficio Total (Ingresos totales – Costes totales)

BP = Beneficio Privado (Ingresos privados – Costes privados)

BE = Beneficio de las Externalidades (Ingresos externalidades – Costes externalidades)

CO= Coste de Oportunidad

La tabla nº 7.9, resume la valoración de los impactos del proyecto.

Tabla 7.9 Cuantificación de las externalidades del proyecto

Grupo de Impacto	Impactos Implicados	Cuantificación	
		Negativo	Positivo
Infraestructura hidráulica	Regeneración y reutilización del agua residual	5,089	
Acondiciona-miento y reutilización de contaminantes	Fertilizantes (N y P)		0,137
	Salinidad y metales pesados a la agricultura	No cuantificado	
	Fangos		No cuantificado
Usos del recurso	Cantidad de agua	4,779	10,311
	Garantías de suministro		No cuantificado
	Calidad del agua		10,600
La salud pública	No Aplica		
Medio Ambiente	Contaminación de masas de agua		No cuantificado
	Emisiones de CO ₂	0,026	
	Rechazo salino		No cuantificado
Educación	Rechazo social	No cuantificado	
	Cultura del agua		No cuantificado
TOTAL (M€ anuales)		9,894	21,048

Los beneficios totales, incluyendo los privados y las externalidades positivas, es de 21,05 M€ anuales. Y que los costes, incluyendo los privados y las externalidades negativas, son de 9,89 M€ anuales. Lo que representa un beneficio total de 11,15 M€.

Análisis de sensibilidad

Finalmente es necesario evaluar la robustez que el proyecto tiene ante los posibles cambios en las variables económicas más importantes. El análisis de sensibilidad tiene como objetivo el observar cómo se modifica el resultado al variar marginalmente y por separado, el valor de cada uno de los parámetros que intervienen en el cálculo. Para este caso, las variables para realizar un análisis de sensibilidad son:

1) el precio del agua regenerada

Este análisis muestra que considerando las externalidades, el SRRAR Depurbaix es viable operativamente y económicamente cuando el precio de venta del agua regenerada tiene un valor desde los 0,2693 € por metro cúbico (cuando se considera que el agricultor no acepta pagar más que el canon de regulación). Sin embargo, si el productor vende el agua al mismo precio a todos los usuarios, el precio desciende a 0,1897 €/m³. Esto significa que el balance de las externalidades rebajan el precio en 0,0796 €/m³, lo cual se puede considerar como la valoración del beneficio que obtendrían los demás usuarios.

Tabla 7.10 Análisis de sensibilidad para diferentes precios de ventas

Precio de venta (€/m ³)	Beneficio (M€/año)	VAN (M€/año)	TIR %
0	0,864	-92,9	-13,0
0,03	2,010	-81,9	-7,5
0,09	4,302	-60,1	-1,5
0,15	6,594	-38,2	2,7
0,21	8,886	-16,3	6,1
0,2693	11,151	5,3	9,1
0,3	12,324	16,5	10,6
0,36	14,616	38,3	13,3
0,42	16,908	60,2	15,8
0,48	19,200	82,1	18,3
0,54	21,492	103,9	20,8
0,6	23,784	125,8	23,2

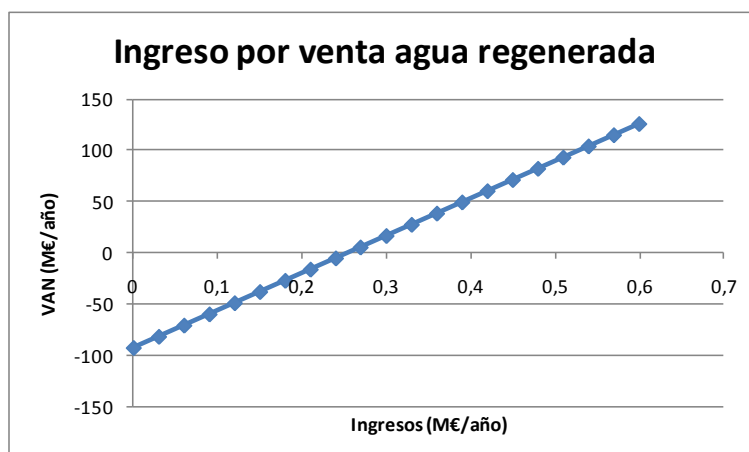


Figura 7.3 Variación del VAN respecto a los ingresos por venta de agua regenerada

2) el coste de oportunidad.

Este análisis muestra que, el costo de oportunidad de vender el agua regenerada a un el precio superior a 0,6 €/m³, el VAN actual del SRRAR Depurbaix comienza a ser negativo. Recordando que esta tarifa es el precio máximo que estaría dispuesto a pagar el sector industrial por el uso del agua regenerada, se considera que este coste de oportunidad es el más elevado que el SRRAR puede obtener actualmente.

Tabla 7.11 Análisis de sensibilidad para los Costos de Oportunidad

CO (M€/año)	Beneficio (M€/año)	VAN (M€/año)	TIR %
0	15,933	50,89	14,75
1	14,933	41,36	13,62
2	13,933	31,82	12,47
3	12,933	22,28	11,28
4	11,933	12,74	10,07
4,779	11,154	5,30	9,10
5	10,933	3,40	8,84
6	9,933	-6,34	7,52
7	8,933	-15,88	6,17
8	7,933	-25,42	4,74

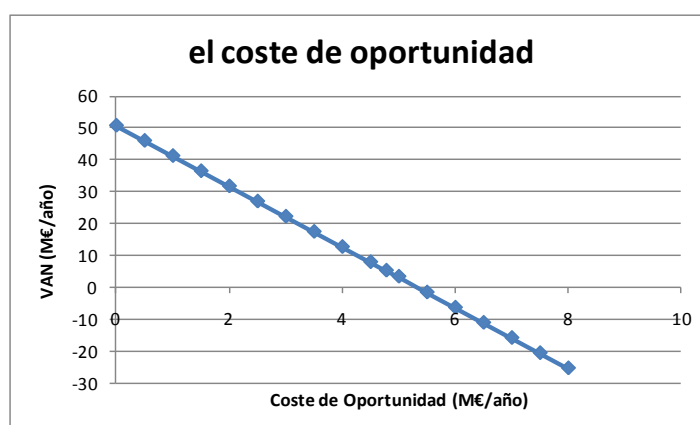


Figura 7.4 Variación del VAN con respecto a diferentes Costes de Oportunidad

Capítulo 8 Conclusiones y Recomendaciones

El sistema de regeneración y reutilización de aguas residuales del El Prat de Llobregat o Deprubaix, genera una serie de impactos que son necesarios de identificar, cuantificar y valorar, con el fin de conocer en mayor profundidad las ventajas o desventajas de la implantación de estos SRRAR.

Mediante la metodología de análisis costo-beneficio utilizada para realizar el análisis técnico-económico, es posible valorar los impactos negativos y positivos generados por la instalación y operación del SRRAR Deprubaix y los generados por el riego agrícola en el Parc Agrari del Biax Llobregat. De esta manera se obtiene el precio mínimo de venta del agua regenerada, permitiendo agregar todos los costes asociados con el objetivo de maximizar el beneficio de reutilizar el agua.

Con respecto a los costes privados del SRRAR Depurbaix, se identifican que estos están compuestos principalmente por los costes de inversión, de operación y mantenimiento.

La Entidad Metropolitana del Medio Ambiente del Área Metropolitana de Barcelona, aportando un 85% del financiamiento, con la ayuda de los Fondos de Cohesión de la Unión Europea, y la Agencia Catalana del Agua, aportando el 15% restante, han financiado el SRRAR Depurbaix, gestionado por EMSSA. La inversión total realizada asciende a los 101,1 M€. Y los costes de explotación y mantenimiento valoran en 5,1 M€ anuales.

Las externalidades del SRRAR y del Parc Agrari, están asociadas a la cantidad y la calidad del agua regenerada. La que fueron posible de valorar, se identifican y agrupan en tres grupos principales:

Acondicionamiento y reutilización de contaminantes: el aporte de nutrientes agrícolas como el nitrógeno y el fósforo contenidos en el agua, generan un impacto positivo durante la vida útil del proyecto, aportando 59.000 UF anuales valorados en 0,14 M€ anuales.

Usos del recurso: asociados al aumento de la disponibilidad del recurso y la confiabilidad en la calidad del agua regenerada. El primero se valora positivamente en 10,3 M€. Y el segundo, asociado al contenido de salinidad y metales, que en un caso extremo de su presencia en el agua regenerada, impacta negativamente pudiendo provocar la pérdida total de la cosecha de los agricultores, valorando el impacto en 10 M€ anuales.

Medio Ambiente: las emisiones de CO₂ asociados al consumo energético del SRRAR impacta negativamente aumentando la concentración de gases de efecto invernadero. Este impacto es valorado en 0,03 M€ anuales.

El precio mínimo de venta calculado para recuperar todos los coste de producir 50 hm³ anuales de agua regenerada, es de 0,1897 €/m³. Este valor permite que la inversión realizada sea rentable según los criterios del valor actual neto (VAN), suponiendo que se cobra a todos los usuarios del agua regenerada.

Sin embargo, considerando que los agricultores del Parc Agrari no están dispuestos a pagar un valor mayor del que pagan en estos momentos por el canon de regulación, se calcula un nuevo precio mínimo de venta diferenciando a los usuarios. De tal manera que 11,8 hm³ destinados al riego agrícola mantiene el precio de 0,00179€/m³ y el resto, 38,2 hm³, se le debe aplicar una tarifa de 0,2693 €/m³.

El balance de la valoración de las externalidades del proyecto nos india que: Los beneficios totales, incluyendo los privados y las externalidades positivas, es de 21,05 M€ anuales. Los costes, incluyendo los privados y las externalidades negativas, son de 9,89 M€ anuales. Lo que representa un beneficio total de 11,15 M€.

El análisis de sensibilidad al precio del agua regenerada y al coste de oportunidad del proyecto muestra que el SRRAR Depurbaix es viable operativamente y económicamente cuando el precio de venta del agua regenerada tiene un valor desde los 0,2693 € por metro cúbico. El análisis de coste de oportunidad nos indica que si el precio de venta a un mejor postores mayor a 0,6 €/m³ el VAN comienza a ser negativo, por lo que el proyecto no sería operativamente rentable. Mientras el mayor precio a pagar se mantenga igual o inferior a éste, el SRRAR sigue siendo rentable.

Bibliografía

- ACA. (2012). Agencia Catalana del Agua, Programas de Saneamiento. <http://aca-web.gencat.cat/aca/appmanager/aca/aca?nfpb=true&pageLabel=P18600879181247495336951>
- Agbar. (2012). Aguas de Barcelona. <http://www.agbar.es/es/home.html>
- Agencia Catalana del Agua. (2009). Informe Sostenibilidad Ambiental del Programa de Reutilización de Agua de Cataluña (ISA PRAC). Generalitat de Catalunya, Departament de Medi Ambient i Habitatge.
- Agencia Catalana del Agua. (2009). Programa de Reutilización de Agua de Cataluña (PRAC). Generalitat de Catalunya, Departament de Medi Ambient i Habitatge.
- Aguado, J. (2008). Artículo “La utilización de aguas regenerados como fuente de agua potable: una alternativa para paliar los problemas de abastecimiento”. Sistema mi+d. Madrid. España. <http://www.madrimasd.org/blogs/remtavares/2008/04/17/89372>
- ATLL. (2009). Folleto informativo “Planta dessalinizadora de la conca del Llobregat”. Aguas del Ter de Llobregat. <http://www.atll.cat/es/page.asp?id=19>
- ATLL. (2009). “Desalination plant at the Llobregat Basin”. Aguas del Ter de Llobregat.
- ATLL. (2010). “Memòria d’activitats i de responsabilitat social”. Aguas del Ter de Llobregat.
- ATLL. (2011). “Tecnologías de membranas”. Aguas del Ter de Llobregat.
- Cañas i Sala, J. (2002). Conservación de la biodiversidad y desarrollo de las infraestructuras en el Prat de Llobregat. <http://habitat.aq.upm.es/bpes/onu02/bp220.html>
- Castro de Esparza. (1990). Evaluación de riesgos para la Salud por uso de aguas residuales en Agricultura. CEPIS. Lima. Perú.
- Cazurra Pérez, T. (2001). Artículo “Emisario submarino del Baix Llobregat”. Revista de Obras Públicas, N° 3.408, pag. 67. http://ropdigital.ciccp.es/pdf/publico/2001/2001_marzo_3408_02.pdf
- Comisión Internacional en Especificación Microbiológica de Alimentos. (1983). Microorganismos de los alimentos. Vol I: Técnicas de Análisis microbiológica. Ed. Acribia, Zaragoza, España.
- Comisión Internacional en Especificación Microbiológica de Alimentos. (1983). Microorganismos de los alimentos Vol II: Métodos de muestreo para análisis microbiológico: Principios y aplicaciones específicas. Ed. Acribia. Zaragoza. España.
- Compte Costa, J. Depurbaix S.A. “Gestión medioambiental de las obras del sistema de saneamiento y depuración del Baix Llobregat”. http://www.ciccp.es/webantigua/icitema/Comunicaciones/Tomo_II/T2p1745.pdf
- Consell Comarcal del Baix Llobregat. (2012). http://www.elbaixllobregat.net/index.asp?v_id_departament=Z

Departamento de Agricultura, Alimentación y Acción Rural-ACA. (2005). “Caracterització de masses d’aigua i anàlisi del risc d’incompliment dels objectius de la directiva marc de l’aigua (2000/60/CE) a Catalunya”.

Depurbaix S.A. (2002). Revista Ambienta. Artículo “La Depuradora del Baix Llobregat acabarà con el principal punto negro del litoral catalán”.
http://www.mcrit.com/bcnext/info_web/geografies/llocs/El%20Prat_de_Llobregat/depuradora_baix%20llobregat.pdf

Diputació de Barcelona. (2012). Mapa del Parc Agrari del Baix Llobregat.
<http://www.diba.es/parcsn/parcs/plana.asp?parc=9&m=299>

Diputació de Barcelona. (2012). Xarxa de Parcs Naturals: Parc Agrari del Baix Llobregat.
<http://www.diba.es/parcsn/parcs/plana.asp?parc=9&m=92&s=561>

Directiva CE, (2000). Directiva 2000/60/CE, Ed. OCDE

Dourojeanni. A., (1999). Gestión de cuencas y ríos vinculados con centros urbanos. Ed. CEPAL, Santiago, Chile.

EMA-AMB. (2010). “Dades Ambientals Metropolitanes – Àrea Metropolitana de Barcelona Entitat del Medi Ambient 2010”. Entidad del Medio Ambiente del Área Metropolitana de Barcelona.

EMA-AMB. (2012). Departamento de Medio Ambiente de Barcelona.
<http://www.amb.cat/web/emma/aigua>

Generalitat de Catalunya. (2008). Sala de premsa: “Llega al puerto de Barcelona el primer barco con agua potable procedente de Tarragona”.
http://premsa.gencat.cat/pres_fsvp/AppJava/notapremsavw/detall.do?id=89503&idioma=1&departament=47&canal=48

Generalitat de Catalunya. (2012). <http://www.gencat.cat/>

Gullón, M. (2010). La Gestión del Agua Regenerada en la AMB. I Conferencia Internacional de la Asociación Española de Reutilización Sostenible del Agua (ASERSA).

Heinz, I., Salgot M., Mateo-Sagasta Dávila, J. (2011) Evaluating the costs and benefits of water reuse and exchange projects involving cities and farmers. Water International. 36 (4): 455-466.

Katz, R. (2003). Water Recycling 2030. Recycled Water Task Force. California Department of Water Resources.

Montasell, J. (2008). “El parque agrario del Baix Llobregat: una excusa para reflexionar sobre la necesidad de preservar, desarrollar y gestionar los espacios agrarios”. Presentación para Congreso Nacional del Medio Ambiente (CONAMA), Cumbre del Desarrollo Sostenible, Madrid.
http://www.conama9.org/conama9/download/files/MRs/65489478_ppt_JMontasell.pdf

Mujeriego R. (1990). Riego con agua residual municipal regenerada; traducido y editado por Rafael Mujeriego; ed. la Junta de Sanejament de la Generalitat de Catalunya y la Universitat Politècnica de Catalunya. Barcelona, España.

Mujeriego, R. (2010) Agua Regenerada: Un recurso fiable para promover la autosuficiencia. Documentos de Divulgación de la Fundación AGBAR.

Oficina Catalana del Canvi Climàtic. (2012). Guía práctica para el cálculo de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). Generalitat de Catalunya, Comisión Interdepartamental del Cambio Climático.

http://www20.gencat.cat/docs/canviclimatic/Home/Politiques/Politiques%20catalanes/La%20mitigacio%20del%20canvi%20climatic/Guia%20de%20calcul%20demissions%20de%20CO2/120301_Guia%20practica%20calcul%20emissions_rev_ES.pdf

Papasseit, P. (2009). Artículo “El Parc Agrari del Baix Llobregat tiene valor paisajístico, ecológico, cultural y hortícola”. Revista Tecnología de Producción.

Parque Agrícola Valle del Guadalhorce. (2012).

<http://www.parqueagricolaguadalhorce.com/index.php/parques-agricolas-socios-del-proyecto/parque-agrario-del-baix-llobregat>

Real Decreto 1620/2007, de 7 de diciembre. BOE núm. 294

Rosas Rodriguez, H. (2001). Estudio de la contaminación por metales pesados en la cuenca del Llobregat. Universitat Politècnica de Catalunya. Departament d'Enginyeria Minera i Recursos Naturals. <http://www.tesisenred.net/handle/10803/6978>

Sabater, C (2005). Artículo “Agricultura periurbana, una eina de qualitat en la gestió del territori”. Revista de la Diputació de Barcelona, número 135, julio-agosto. www.agroteritori.org

Seguí, L. (2004). Sistemas de regeneración y reutilización de aguas residuales. Metodología para el análisis técnico-económico y casos. Universitat Politècnica de Catalunya. Departament d'Enginyeria Agroalimentària i Biotecnologia. <http://hdl.handle.net/10803/7053>

Sempere Roig, J. (2002). El paper de la pagesia en la gestió del territori al delta del Llobregat (1950-2000). Memòria de Recerca, Departament de Geografia, UAB.

Terricabras, R. (2005). El parque agrario del Baix Llobregat (Barcelona), una agricultura de futuro en un territorio periurbano de calidad. Fundación Agroteritori.

http://www.agroteritori.org/ficha.php?id_nivell3=94#doc361

Tomeo Xufré, N. y Vega Hinojos, V. (2006) “estudi del medi físic del parca agrari del baix Llobregat. Característiques del sol”. Escuela Superior de Agricultura de Barcelona.

UE. (2011). “Comercio de derechos de emisión de gases de efecto invernadero y programa sobre el cambio climático”. 2011. http://europa.eu/legislation_summaries/other/l28109_es.htm

Unió de Pagesos. (2012). <http://www.uniopagesos.org/>

Verdaguer, C. (2010). Conservación de la biodiversidad y de los usos agrícolas frente a la presión de las infraestructuras metropolitanas en el entorno de El Prat de Llobregat.

<http://habitat.aq.upm.es/eacc/aelprat.html>

Anexos

Anexos I Criterios de calidad para la reutilización de las aguas regeneradas según los usos (RD 1620/2007)

Tabla 1: Calidad de agua regenerada según su uso

USO DEL AGUA	VALOR MÁXIMO ADMISIBLE (VMA)				OTROS CRITERIOS
	NEMÁTODOS INTESTINALES ¹	ESCHERICHIA COLI	SÓLIDOS EN SUSPENSIÓN	TURBIDEZ	
6. USOS URBANOS					
CALIDAD 1.1: RESIDENCIAL ² a) Riego de jardines privados. ³ b) Descarga de aparatos sanitarios. ³	1 huevo/10 l	0 UFC ⁴ /100 ml	10 mg/L	2 NTU ⁵	OTROS CONTAMINANTES ⁶ presentes en la autorización de vertido de aguas residuales: se deberá limitar la entrada de estos contaminantes al medio ambiente. En caso de que se trate de sustancias peligrosas ⁷ , habrá que asegurarse de respetar las NCAs ⁸ Legionella spp. 100 UFC/l. (si existe riesgo de aerosolización)
CALIDAD 1.2: SERVICIOS a) Riego de zonas verdes urbanas (parques, campos deportivos y similares) ⁹ b) Limpieza de calles. ⁹ c) Sistemas contra incendios. ⁹ d) Lavado industrial de vehículos. ⁹	1 huevo/10 l	200 UFC/100 ml	20 mg/L	10 NTU	

¹ Considerar en todos los grupos de calidad al menos los géneros: Ancylostoma, Trichuris y Ascaris.

² Deben someterse a controles que aseguren el correcto mantenimiento de las instalaciones.

³ Su autorización estará condicionada a la obligatoriedad de la presencia de un doble circuito señalizado en todos los tramos hasta el punto de uso.

⁴ Unidades Formadoras de colonias.

⁵ Unidades Nefelométricas de Turbidez.

⁶ Ver el Anexo II del RD 849/1986, de 11 de abril

⁷ Ver el Anexo IV del RD 907/2007, de 6 de julio.

⁸ Norma de calidad ambiental, ver el artículo 245.5.a del RD 849/1986, de 11 de abril, modificado por el RD 606/2003 de 23 de mayo.

⁹ Cuando exista un uso con posibilidad de aerosolización del agua, es imprescindible seguir las condiciones de uso que señale, para cada caso, la autoridad sanitaria, sin las cuales estos usos no serán autorizados.

USO DEL AGUA	VALOR MÁXIMO ADMISIBLE (VMA)				OTROS CRITERIOS
	NEMÁTODOS INTESTINALES ¹	ESCHERICHIA COLI	SÓLIDOS EN SUSPENSIÓN	TURBIDEZ	
7. USOS AGRICOLAS¹					
CALIDAD 2.1 ² a) Riego de cultivos con sistema de aplicación del agua que permita el contacto directo del agua regenerada con las partes comestibles para alimentación humana en fresco.	1 huevo/10 l	100 UFC/100 ml Considerando un plan de muestreo a 3 clases ³ con los siguientes valores: n = 10 m = 100 UFC/100ml M = 1.000 UFC/100ml c = 3	20 mg/l	10 NTU	OTROS CONTAMINANTES presentes en la autorización de vertido de aguas residuales: se deberá limitar la entrada de estos contaminantes al medio ambiente. En caso de que se trate de sustancias peligrosas, habrá que asegurarse de respetar las NCAs. Legionella spp. 100 UFC/l. (si existe riesgo de aerosolización) Es obligatorio llevar a cabo la detección de patógenos Presencia / Ausencia (Salmonella, etc ..) cuando se repita habitualmente que C = 3 para M = 1.000.

¹ Características del agua regenerada que requieren información adicional: Conductividad 3,0 dS/m; Relación de Absorción de Sodio (RAS): 6 meq/l; Boro: 0,5 mg/l; Arsénico: 0,1 mg/l; Berilio: 0,1 mg/l; Cadmio: 0,01 mg/l; Cobalto: 0,05 mg/l; Cromo: 0,1 mg/l;

Cobre: 0,2 mg/l; manganeso: 0,2 mg/l; Molibdeno: 0,01 mg/l; Níquel: 0,2 mg/l; Selenio: 0,02 mg/l; Vanadio: 0,1 mg l. Para el cálculo de RAS se utilizará la fórmula:

$$Ras \left(\frac{meq}{l} \right) = \frac{[Na]}{\sqrt{\frac{([Ca] + [Mg])}{2}}}$$

²Cuando exista un uso con posibilidad de aerosolización del agua, es imprescindible seguir las condiciones de uso que señale, para cada caso, la autoridad sanitaria, sin las cuales, estos usos no serán autorizados.

³Siendo n: n ° de unidades de la muestra; m: valor límite admisible por el recuento de bacterias; M: valor máximo permitido por el recuento de bacterias; c: número máximo de unidades de muestra, el número bacterias se sitúa entre my M.

USO DEL AGUA	VALOR MÁXIMO ADMISIBLE (VMA)				
	NEMÁTODOS INTESTINALES ¹	ESCHERICHIA COLI	SÓLIDOS EN SUSPENSIÓN	TURBIDEZ	OTROS CRITERIOS
2. USOS AGRICOLAS¹					
<p>CALIDAD 2.2</p> <p>a) Riego de productos para consumo humano con sistema de aplicación de agua que no evita el contacto directo del agua regenerada con las partes comestibles, pero el consumo no es en fresco sino con un tratamiento industrial posterior.</p> <p>b) Riego de pastos para consumo de animales productores de leche o carne.</p> <p>c) Acuicultura.</p>	1 huevo/10 l	<p>1000 UFC/100 ml</p> <p>Considerando un plan de muestreo a 3 clases¹ con los siguientes valores:</p> <p>n = 10</p> <p>m = 1.000 UFC/100 mL</p> <p>M = 10.000 UFC/100 mL</p> <p>c = 3</p>	35 mg/l	No se fija límite	<p>OTROS CONTAMINANTES contenidos en la autorización de vertido aguas residuales: se deberá limitar la entrada de estos contaminantes al medio ambiente. En el caso de que se trate de sustancias peligrosas deberá asegurarse el respeto de las NCAs.</p> <p><i>Taenia saginata</i> y <i>Taenia solium</i>: 1 huevo/L (si se riegan pastos para consumo de animales productores de carne)</p> <p>Es obligatorio llevar a cabo detección de patógenos Presencia/Ausencia (<i>Salmonella</i>, etc.) cuando se repita habitualmente que c=3 para M=10.000</p>
<p>CALIDAD 2.3</p> <p>a) Riego localizado de cultivos leñosos que impida el contacto del agua regenerada con los frutos consumidos en la alimentación humana.</p> <p>b) Riego de cultivos de flores ornamentales, viveros, invernaderos sin contacto directo del agua regenerada con las producciones.</p> <p>c) Riego de cultivos industriales no alimentarios, viveros, forrajes ensilados, cereales y semillas oleaginosas.</p>	1 huevo/10 l	10.000 UFC/100 mL	35 mg/l	No se fija límite	<p>OTROS CONTAMINANTES contenidos en la autorización de vertido aguas residuales: se deberá limitar la entrada de estos contaminantes al medio ambiente. En el caso de que se trate de sustancias peligrosas deberá asegurarse el respeto de las NCAs.</p> <p>Legionella spp. 100 UFC/L</p>

¹Siendo n: n ° de unidades de la muestra; m: valor límite admisible por el recuento de bacterias; M: valor máximo permitido por el recuento de bacterias; c: número máximo de unidades de muestra, el número bacterias se sitúa entre my M.

USO DEL AGUA	VALOR MÁXIMO ADMISIBLE (VMA)				
	NEMÁTODOS INTESTINALES ¹	ESCHERICHIA COLI	SÓLIDOS EN SUSPENSIÓN	TURBIDEZ	OTROS CRITERIOS
3. USOS INDUSTRIALES					
CALIDAD 3.1 ¹ a) Aguas de proceso y limpieza excepto en la industria alimentaria. b) Otros usos industriales.	No se fija límite	10.000 UFC/100 ml	35 mg/L	15 UNT	OTROS CONTAMINANTES contenidos en la autorización de vertido aguas residuales: se deberá limitar la entrada de estos contaminantes al medio ambiente. En el caso de que se trate de sustancias peligrosas deberá asegurarse el respeto de las NCAs Legionella spp.: 100 UFC/L
c) Aguas de proceso y limpieza para uso en la industria alimentaria	1 huevo/10 L	1.000 UFC/100 mL Teniendo en cuenta un plan de muestreo a 3 clases ² con los siguientes valores: n = 10 m = 1.000 UFC/100 mL M = 10.000 UFC/100 mL c = 3	35 mg/L	No se fija límite	OTROS CONTAMINANTES contenidos en la autorización de vertido aguas residuales: se deberá limitar la entrada de estos contaminantes al medio ambiente. En el caso de que se trate de sustancias peligrosas deberá asegurarse el respeto de las NCAs. Legionella spp.: 100 UFC/L Es obligatorio llevar a cabo detección de patógenos Presencia/Ausencia (Salmonella, etc.) cuando se repita habitualmente que c=3 para M=10.000
CALIDAD 3.2 a) Torres de refrigeración y condensadores evaporativos.	1 huevo/10 L	Ausencia UFC/100 mL	5 mg/L	1 UNT	Legionella spp: Ausencia UFC/L Para su autorización se requerirá: - La aprobación, por la autoridad sanitaria, del Programa específico de control de las instalaciones contemplado en el Real Decreto 865/2003, de 4 de julio, por el que se establecen los criterios higiénicosanitarios para la prevención y control de la legionelosis. - Uso exclusivamente industrial y en localizaciones que no estén ubicadas en zonas urbanas ni cerca de lugares con actividad pública o comercial.

¹ Cuando exista un uso con posibilidad de aerosolización del agua, es imprescindible seguir las condiciones de uso que señale, para cada caso, la autoridad sanitaria, sin las cuales, estos usos no serán autorizados.² Siendo n: n^o de unidades de la muestra; m: valor límite admisible por el recuento de bacterias; M: valor máximo permitido por el recuento de bacterias; c: número máximo de unidades de muestra, el número bacterias se sitúa entre m y M.

USO DEL AGUA	VALOR MÁXIMO ADMISIBLE (VMA)				
	NEMÁTODOS INTESTINALES ¹	ESCHERICHIA COLI	SÓLIDOS EN SUSPENSIÓN	TURBIDEZ	OTROS CRITERIOS
4. USOS RECREATIVOS					
CALIDAD 4.1 ¹ a) Riego de campos de golf.	1 huevo/10 L	200 UFC/100 mL	20 mg/L	10 UNT	OTROS CONTAMINANTES contenidos en la autorización de vertido aguas residuales: se deberá limitar la entrada de estos contaminantes al medio ambiente. En el caso de que se trate de sustancias peligrosas deberá asegurarse el respeto de las NCAs. Si el riego se aplica directamente a la zona del suelo (goteo, microaspersión) se fijan los criterios del grupo de Calidad 2.3 Legionella spp. 100 UFC/L (si existe riesgo de aerosolización)
CALIDAD 4.2 a) Estanques, masas de agua y caudales circulantes ornamentales, en los que está impedido el acceso del público al agua.	No se fija límite	10.000 UFC/100 mL	35 mg/L	No se fija límite	OTROS CONTAMINANTES contenidos en la autorización de vertido aguas residuales: se deberá limitar la entrada de estos contaminantes al medio ambiente. En el caso de que se trate de sustancias peligrosas deberá asegurarse el respeto de las NCAs. PT : 2 mg P/L (en agua estancada)

¹ Cuando exista un uso con posibilidad de aerosolización del agua, es imprescindible seguir las condiciones de uso que señale, para cada caso, la autoridad sanitaria, sin las cuales, estos usos no serán autorizados.

USO DEL AGUA	VALOR MÁXIMO ADMISIBLE (VMA)				
	NEMÁTODOS INTESTINALES ¹	ESCHERICHIA COLI	SÓLIDOS EN SUSPENSIÓN	TURBIDEZ	OTROS CRITERIOS
5. USOS AMBIENTALES					
CALIDAD 5.1 a) Recarga de acuíferos por percolación localizada a través del terreno.	No se fija límite	1.000 UFC/100 mL	35 mg/L	No se fija límite	NT ¹ : 10 mg N/L NO3 : 25 mg NO3/L Art. 257 a 259 del RD 849/1986
CALIDAD 5.2 a) Recarga de acuíferos por inyección directa.	1 huevo/10 L	0 UFC/100 mL	10 mg/L	2 UNT	
CALIDAD 5.3 a) Riego de bosques, zonas verdes y de otro tipo no accesibles al público. b) Silvicultura.	No se fija límite	No se fija límite	35 mg/L	No se fija límite	OTROS CONTAMINANTES contenidos en la autorización de vertido aguas residuales: se deberá limitar la entrada de estos contaminantes al medio ambiente. En el caso de que se trate de sustancias peligrosas deberá asegurarse el respeto de las NCAs.
CALIDAD 5.4 a) Otros usos ambientales (mantenimiento de humedales, caudales mínimos y similares).	La calidad mínima requerida se estudiará caso por caso				

¹ Nitrógeno total, suma del nitrógeno inorgánico y orgánico presente en la muestra

Anexo II Metodología de análisis técnico-económico de los SRRAR

Esquema de los pasos a seguir para la aplicación de la metodología

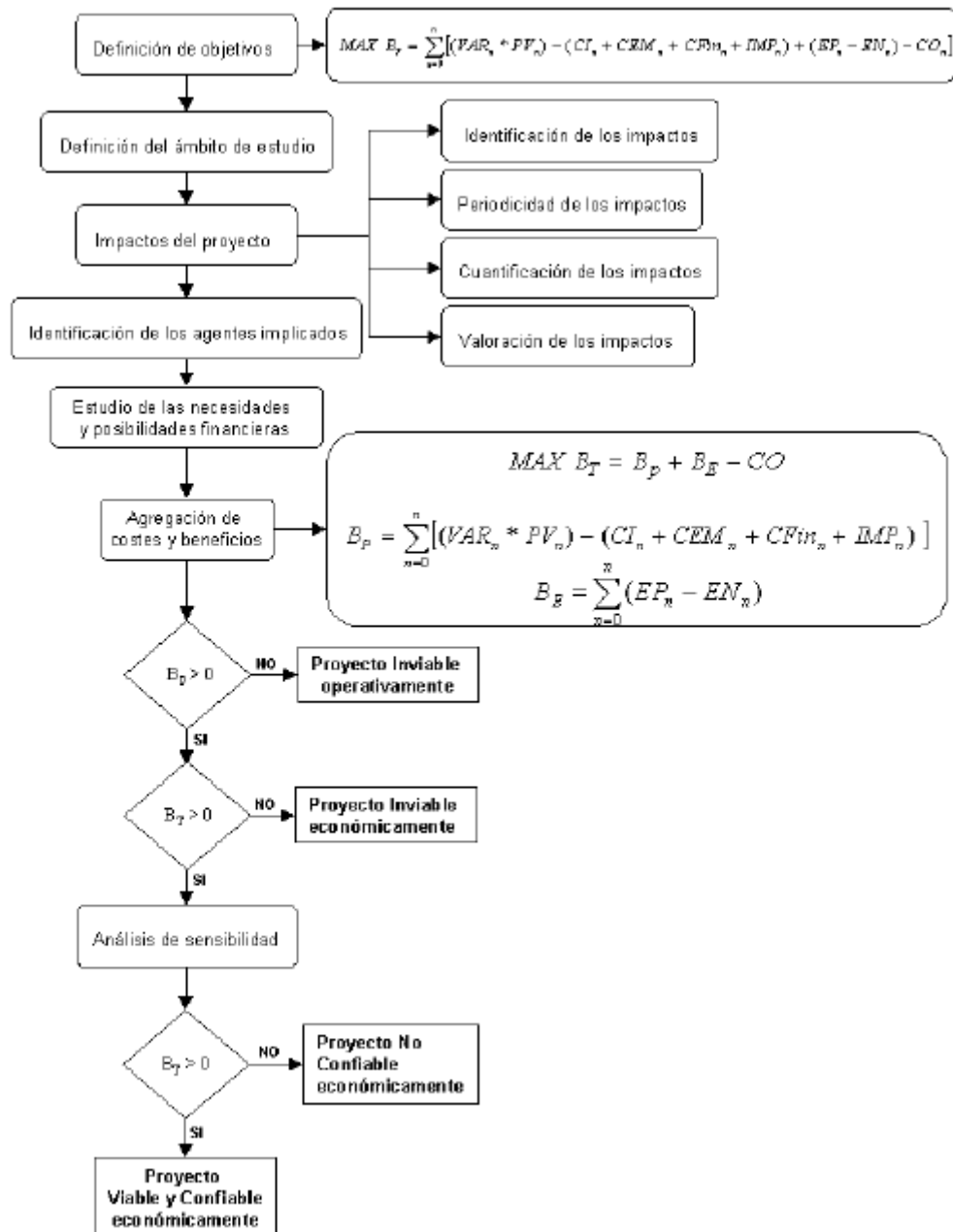


Figura N° 1: Etapas para el análisis económico de los proyectos de regeneración y reutilización de aguas residuales (Seguí, 2004)

Los Impactos del proyecto

Tabla N° 1: Resumen de los impactos de la regeneración y reutilización de las aguas residuales (Seguí, 2004)

Grupo de Impactos	Descripción de los impactos
La infraestructura	La captación y almacenamiento de agua
	La potabilización de agua de abastecimiento
	La conducción y transporte de agua potable
	La rehabilitación y ampliación de las redes de alcantarillado
	El tratamiento y/o vertido del agua residual
	La regeneración y reutilización del agua residual
El acondicionamiento y reutilización de contaminantes	El nitrógeno
	El fósforo
	Los fangos
	La energía
El uso del recurso	La cantidad de agua
	Las garantías de suministro
	La calidad del agua
La salud pública	Los riesgos biológicos
	Los riesgos físico-químicos
El medio ambiente	El agua superficial
	El agua subterránea
	La contaminación de las masas de agua
	El hábitat de humedales y ríos
La educación	Técnica
	Cultura del agua

Valoración de los impactos

Tabla N° 2: unidad de la cuantificación biofísica o social de los impactos identificados (Seguí, 2004)

Grupo de Impacto	Impacto Implicados	Unidades de la Cuantificación biofísica o social.
Infraestructura Hidráulica	La captación y almacenamiento de agua	m ³ de agua
	La potabilización de agua de abastecimiento.	
	La conducción y transporte de agua potable.	
	La rehabilitación y ampliación de las redes de alcantarillado.	
	El tratamiento y/o vertido del agua residual.	
	La regeneración y reutilización del agua residual.	
Acondicionamiento y reutilización de contaminantes	El nitrógeno	kg de N aprovechable
	El fósforo	kg de P aprovechable
	Los fangos	kg de Fangos aprovechable ^(a)
	La energía	watt producidos
Uso del recurso	La cantidad de agua.	m ³ de agua
	Las garantías de suministro.	% de confiabilidad
	La calidad del agua.	kg de contaminante ^(b)
La salud pública	Los riesgos Biológicos	Personas expuestas
	Los riesgos Físico-Químicos	
	Los riesgos en los SRRAR	
Medio ambiente	El agua superficial.	m ³ de agua
	El agua subterránea.	m de nivel freático ^(c)
	La contaminación de las masas de agua.	kg de contaminante eliminado ^(b)
	El hábitat de humedales y ríos.	Individuos existentes ^(d)
Educación	Técnica.	% de eficiencia ^(e)
	Cultura del agua.	Personas ^(f)

(a) La cantidad de fango aprovechable puede ser referenciada a alguno de sus constituyentes, por ejemplo: nitrógeno, fósforo, materia orgánica, etc.
(b) Siempre que la unidad de determinación analítica sea másica, de lo contrario será la unidad en la cual se realiza la determinación. Por ejemplo las bacterias presentes en el agua se miden por UFC (Unidades Formadoras de Colonias).
(c) Unidad de referencia para evaluar el incremento o disminución del recurso hídrico en un acuífero.
(d) En el caso del hábitat de humedales y ríos, alternativamente pueden utilizarse para la valoración de uso de un bien ambiental el número de personas que usa dicho bien ambiental.
(e) Capacidad del personal por mantener los niveles de calidad establecidos en la producción del agua regenerada
(f) Personas que son sensibilizadas con la práctica de regenerar y reutilizar agua residual.

Tabla N° 3: Técnicas de valoración económica (Edwards-Jones et al, 2000)

Grupo de Metodologías	Técnica de valoración	Abreviatura
Aproximaciones al mercado convencional	Cambio en la Producción o aproximación a la función de producción	CP
	Aproximación al Coste de Oportunidad	CO
	Aproximación Dosis-Respuesta	DR
	Gastos de Defensa o prevención	GD
	Coste de Reemplazo o restauración	CR
	Proyecto Sombra	PS
	Coste Sustituto	CS
	Coste Eficiencia	CE
Mercados Implícitos	Precios Hedónicos	PH
	Salario Diferencial	SD
	Coste de Viaje	CV
Mercados Construidos	Mercado Artificial	MA
	Valoración Contingente	VC
No económicos	Análisis Multicriterio	AM
	Delphi	D
	Evaluación de Impactos Ambientales	EIA
	Programación Lineal	PL

Tabla N° 4: valoración económica sobre los impactos relacionados con el agua (Seguí, 2004)

Impacto	Unidad de medida	Método ^(a)	País	Referencia
Calidad de la agua subterránea	Coronas suecas / kg N	CR	Suecia	Gren, 1995
Mantenimiento de humedales	Dólares canadienses / actividad lúdica (caza o pesca)	PM	Canadá	McNaughton, 1995
Asignación de agua	USD / acre USD / visitante USD / vivienda	PM	EE.UU.	Piper, 1997
Sequía	USD / acre-pie	CP	EE.UU.	Booker, 1995
Contaminación por la práctica agrícola	USD / acre ^(b)	PR	EE.UU.	Cooper, 1997
Calidad del agua de baño en playa	Aumento en el consumo por mejoría en la calidad del agua de la playa	PR	UK	Hanley, et al, 2001
Caudal ecológico	USD / familia-año	VC	EE.UU.	Berrens, et al, 2000
Garantía en el suministro de agua	USD / mes ^(b)	VC	EE.UU.	Griffin y Mjeld, 2000
Contaminación de aguas superficiales	USD / familia-mes ^(b)	VC	EE.UU.	Loomis, et al, 2000
Contaminación de aguas subterráneas	USD / familia ^(b)	VC	EE.UU.	Poe y Bishop, 1999
Uso recreativo de agua superficial	Libras / familia - año	VC	UK	Bateman et al, 2001
Calidad del agua costera	Libras / usuario ^(b)	VC	UK	Georgiou, et al, 2000
Contaminación de aguas superficiales	USD / propiedad ^(b)	PH	EE.UU.	Boyle, et al, 1999
Valor del agua en la agricultura	USD / acre-pie	PH	EE.UU.	Faux, y Perry, 1999
Calidad microbiológica del agua costera	USD/carga microbiológica	PH	EE.UU.	Leggett et al, 2000
Calidad estética del agua superficial	USD / metro	PH	EE.UU.	Poor, et al, 2001
Calidad fisicoquímica del agua costera	Yen Japonés / usuario ^(b)	CV	Japón	Kawabe y Oka, 1996
Usos del agua superficial	USD / acre-pie	CV	EE.UU.	Ward, et al, 1996
Uso recreativo del agua	Dólar canadiense / ha	CV	Canadá	Boxall, et al, 1996
Contaminación y uso recreativo del agua	Peso filipino / familia - mes ^(b)	CV	Filipinas	Choe, et al, 1996
Uso recreativo del agua	USD / viaje ^(b)	CV	EE.UU.	Kaoru et al, 1995
Uso recreativo del agua	USD / viaje ^(b)	CV	EE.UU.	Parsons, et al, 2000
Uso recreativo del agua	USD / viaje ^(b)	CV	EE.UU.	Train, 1998
Contaminación y uso del agua y suelo	Franco Suizos	MM	Suiza	Goetz y Xabadia, 2000
Contaminación del agua en agricultura	Libras	PM	UK	Pretty et al, 2000
Contaminación y uso recreativo del agua en humedales	USD / ha-año	CV, CR	Canadá	Turner et al, 2003

(a) CR.- Coste de Reemplazo, PM.- Precio de mercado, CP.- Cambio en la productividad, PR.- Preferencias Reveladas, VC.- Valoración Contingente, PH.- Precios Hedónicos, CV.- Coste de Viaje, DR.- Dosis-Respuesta, MM.- Meta-Modelo.

(b) Expresado como la disponibilidad a pagar

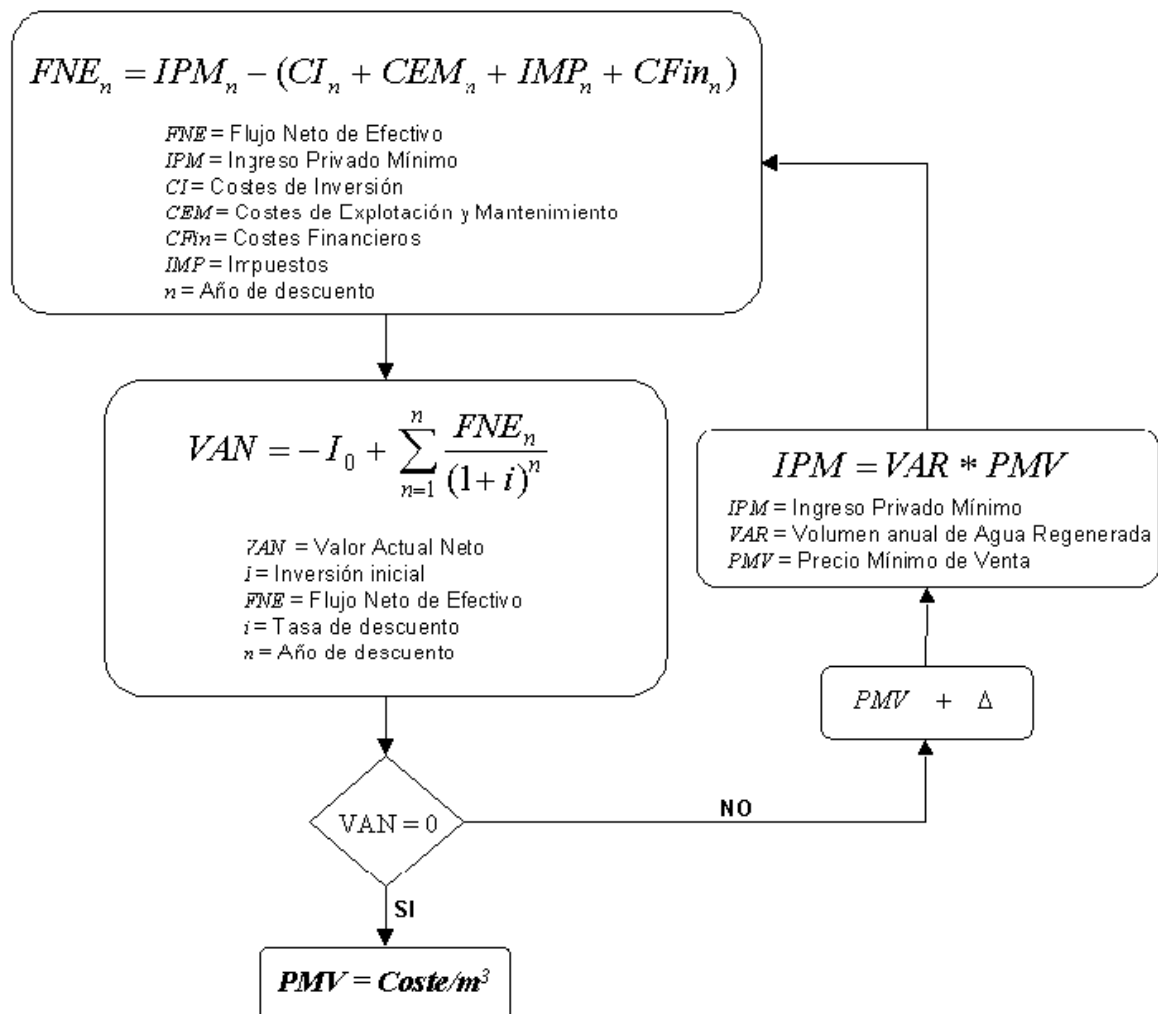


Figura N° 2: Algoritmo para la determinación del Coste por Metro Cúbico (Seguí, 2004)