



**Escola de Camins**

Escola Tècnica Superior d'Enginyeria de Camins, Canals i Ports  
UPC BARCELONATECH

## PROYECTO O TESIS D'ESPECIALITAT

**Títol**

**VIVIR AGUAS ABAJO  
LA REUTILIZACIÓN POTABLE  
EN LAS CUENCAS INTERNAS DE CATALUNYA**

**Autor/a**

**SARA LOBATO RUBIO**

**Tutor/a**

**Tutor Académico; MARTÍN GULLÓN SANTOS  
Tutor Externo: RAFAEL MUJERIEGO SAHUQUILLO**

**Departament**

**INGENIERÍA HIDRAULICA, MARÍTIMA Y AMBIENTAL**

**Intensificació**

**AMBIENTAL**

**Data**

**20 de junio de 2014**

## **RESUMEN**

### **VIVIR AGUAS ABAJO**

#### **LA REUTILIZACIÓN POTABLE EN LAS CUENCAS INTERNAS DE CATALUNYA**

Autora: Sara Lobato Rubio.

Tutor externo: Rafael Mujeriego Sahuquillo (ASERSA).

Tutor académico: Martín Gullón Santos.

La reutilización incidental o no planificada de los efluentes depurados que son vertidos a los cursos de agua, ha sido y es una práctica habitual llevada a cabo por las poblaciones situadas aguas abajo a lo largo del cauce de los ríos.

Este proceso, conocido como reutilización incidental, existe tradicionalmente desde que los seres humanos establecieron sus primeros asentamientos junto a los cauces de los cursos fluviales para obtener así los recursos que necesitaban en el desarrollo de sus actividades y se ha venido manteniendo a lo largo de la historia

El incremento registrado por las dotaciones de agua de abastecimiento, junto con el aumento de población experimentado por numerosas zonas urbanas, ha hecho que las fuentes de abastecimiento tradicionales sean insuficientes para atender las demandas actuales (Mujeriego, R. 2013). La necesidad de un volumen de agua para abastecimiento en cantidad, calidad, próximo a la demanda y de fácil explotación es el mayor de los retos de la gestión actual del agua.

La reutilización directa o planificada del agua se define como el aprovechamiento directo de efluentes más o menos depurados y/o regenerados, mediante su transporte hasta el punto de utilización a través de un conducto específico, sin mediar para ello la existencia de un vertido o una dilución en un curso natural de agua (Mujeriego, R. 2013).

La regeneración del agua y su posterior reutilización permite aumentar la disponibilidad neta y constante de agua con unas características asimilables a las de un agua prepotable desde el punto de vista sanitario y ambiental (regeneración avanzada), y poseer de una ubicación privilegiada para su explotación así como mejorar la gestión de los vertidos de efluentes al medio receptor.

Zonas con recursos hidráulicos notables pero con acusados déficits temporales o regionales, como la España peninsular e insular han de encontrar en la reutilización planificada del agua un elemento clave en la gestión de los recursos hídricos.

A partir del estudio de esta tesina se pretende dar a conocer abiertamente la existencia de la práctica de la reutilización potable indirecta en las cuencas internas de Catalunya, a través de la valoración del grado de reutilización que una unidad de volumen (1 litro, 1 metro cúbico, etc.) experimenta desde la cabecera de un río hasta la desembocadura. El río objeto de análisis es el río Llobregat (156,5 km) por ser el más representativo de los que forman parte de la demarcación hidrográfica de Catalunya.

Los resultados del estudio han de servir para documentar la mejora significativa que supone la reutilización directa o planificada de los efluentes depurados dentro de la gestión integral de los recursos hídricos.

## RESUMEN

### VIVIR AGUAS ABAJO

#### LA REUTILIZACIÓ POTABLE A LES CONQUES INTERNES DE CATALUNYA

Autora: Sara Lobato Rubio.

Tutor extern: Rafael Mujeriego Sahuquillo (ASERSA).

Tutor acadèmic: Martín Gullón Santos.

La reutilització incidental o no planificada dels efluent depurats que són abocats als cursos d'aigües, ha estat i és una pràctica comuna duta a terme per les poblacions situades aigües avall al llarg de les lleres dels rius.

Aquest procés, conegut com la reutilització incidental, existeix tradicionalment des de que els essers humans varen establir els seus primers assentaments al costat de les lleres dels cursos fluvials per obtenir-ne així els recursos que necessitaven pel desenvolupament de les seves activitats, i s'ha mantingut durant la història.

L'increment registrat de les dotacions d'aigua d'abastament, junt amb l'augment de la població experimentat a nombroses zones urbanes, ha fet que les fonts d'abastament tradicionals siguin insuficients per atendre les demandes actuals (Mujeriego, R. 2013). La necessitat d'un volum d'aigua per abastament en quantitat i qualitat pròxim a la demanda i que a més a més sigui fàcil d'explotar, és el major dels reptes de la gestió de l'aigua avui en dia.

La reutilització directa o planificada de l'aigua es defineix com l'aprofitament directe d'efluents més o menys depurats y/o regenerats, mitjançant el transport fins al punt d'utilització amb una conducció específica, sense que existeixi cap abocament o dilució amb un curs natural d'aigua (Mujeriego, R. 2013).

La regeneració de l'aigua i la seva posterior reutilització permet augmentar la disponibilitat neta i constant d'aigua amb unes característiques similars a les d'un aigua prepotable, des del punt de vista sanitari i ambiental (regeneració avançada), també posseeix una ubicació privilegiada per la seva explotació així com millorar la gestió dels abocaments d'efluents al medi receptor.

Zones amb recursos hidràulics notables però amb acusats dèficits temporals o regionals, con l'Espanya peninsular i insular han de trobar a la reutilització planificada de l'aigua un element clau per la gestió dels recursos hídrics.

A partir de l'estudi d'aquesta tesina es pretén donar a conèixer obertament la existència de la pràctica de la reutilització potable indirecta a les conques internes de Catalunya, mitjançant la valoració del grau de reutilització que una unitat de volum d'aigua (1 litre, 1 metro cúbic, etc.) experimenta des de la capçalera d'un riu fins la desembocadura. El riu objecte d'anàlisi és el riu Llobregat (156,5 km) donat que és el més representatiu dels que formen part de la demarcació hidrogràfica Catalunya.

Els resultats de l'estudi han de ser útils per documentar la millora significativa que suposa la reutilització directa o planificada dels efluent depurats dins de la gestió integral dels recursos hídrics.

## ÍNDICE

<b>CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
<b>CAPÍTULO 2. OBJETIVOS</b> .....	<b>5</b>
<b>CAPÍTULO 3. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>7</b>
3.1. INTRODUCCIÓN.....	7
3.2. ANTECEDENTES.....	9
3.3. GESTIÓN INTEGRADA DE LOS RECURSOS HÍDRICOS.....	11
3.4. REUTILIZACIÓN PLANIFICADA DEL AGUA. ....	12
3.5. NORMATIVA. ....	15
3.6. ANTECEDENTES REUTILIZACIÓN PLANIFICADA.....	16
3.6.1. <i>EN EL MUNDO</i> .....	17
3.6.2. <i>EN ESPAÑA</i> .....	18
3.6.3. <i>EN CATALUNYA</i> .....	20
3.6.4. <i>RÍO LLOBREGAT</i> .....	24
3.7. EL CASO PRÁCTICO DE NAMIBIA .....	28
3.8. FIABILIDAD DE LOS PROCESOS DE REGENERACIÓN DE AGUA.....	31
<b>CAPÍTULO 4. MATERIALES Y MÉTODOS</b> .....	<b>33</b>
4.1. INTRODUCCIÓN.....	33
4.1.1. <i>FACTOR DE DILUCIÓN</i> .....	38
4.1.2. <i>MODELO DE MEZCLA EN EL CAUCE DEL RÍO</i> .....	42
4.1.3. <i>INDICADOR O TRAZA DE LA CONTAMINACIÓN DEBIDO AL USO URBANO</i> .....	44
4.2. RÍO LLOBREGAT.....	46
4.3. CAUDALES AFORADOS .....	52
4.3.1. <i>CAUDALES AFORADOS AÑO 2007</i> .....	53
4.3.2. <i>CAUDALES AFORADOS 2008</i> .....	54
4.3.3. <i>CAUDALES AFORADOS 2013</i> .....	55
4.3.4. <i>COMENTARIOS SOBRE LOS DATOS</i> .....	56
4.4. ESTACIONES DEPURADORAS DE AGUAS RESIDUALES, EDAR.....	57
4.4.1. <i>CAUDALES VERTIDO 2007</i> .....	59
4.4.2. <i>CAUDALES VERTIDO 2008</i> .....	61
4.4.3. <i>CAUDALES VERTIDO 2012</i> .....	64
4.4.4. <i>COMENTARIOS SOBRE LOS DATOS</i> .....	65
4.5. CAPTACIONES SISTEMA RÍO LLOBREGAT .....	67
4.5.1. <i>CAUDALES CAPTACIÓN AÑO 2007</i> .....	69

4.5.2.	CAUDALES CAPTACIÓN AÑO 2008.....	70
4.5.3.	CAUDALES CAPTACIÓN AÑO 2012.....	70
4.5.4.	COMENTARIOS SOBRE LOS DATOS.....	71
4.6.	CALIDAD QUÍMICA DE LAS MASAS DE AGUA EN LA CABECERA DEL RÍO LLOBREGAT. AÑO 2012.....	72
<b>CAPÍTULO 5. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS .....</b>		<b>76</b>
5.1.	PERIODO DE TIEMPO ANUAL. AÑO 2007 .....	76
5.1.1.	FACTOR DE DILUCIÓN .....	76
5.1.2.	GRADO DE REUTILIZACIÓN.....	77
5.2.	PERIODO DE TIEMPO ANUAL. AÑO 2008 .....	80
5.2.1.	FACTOR DE DILUCIÓN .....	80
5.2.2.	GRADO DE REUTILIZACIÓN.....	81
5.3.	PERIODO DE TIEMPO ANUAL. AÑO 2012 .....	84
5.3.1.	FACTOR DE DILUCIÓN .....	84
5.3.2.	GRADO DE REUTILIZACIÓN.....	85
5.4.	COMENTARIOS DE LOS RESULTADOS.....	88
5.5.	INDICADOR DE LA CONTAMINACIÓN .....	90
<b>CAPÍTULO 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>		<b>92</b>
<b>CAPÍTULO 7. REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA .....</b>		<b>94</b>
<b>CAPÍTULO 8. ANEXOS .....</b>		<b>97</b>
	ANEXO I. REAL DECRETO 1620/2007. RÉGIMEN JURÍDICO DE LA REUTILIZACIÓN DEL AGUA.....	98
	ANEXO I. DATOS DE AFORO.....	99
	ANEXO II. DATOS ESTACIONES DEPURADORA DE AGUAS RESIDUALES CUENCA DEL RÍO LLOBREGAT.....	104

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Esquema del ciclo natural del agua y el ciclo del uso del agua. ....	1
Figura 2. Primer escenario utilizado en el estudio sobre la aceptación pública de la reutilización potable del agua. Fuente: WaterReuse Research Foundation (2014). ....	10
Figura 3. Evolución del volumen de agua reutilizado según los diferentes usos en Catalunya. Fuente: Agència Catalana de l'Aigua (2014). ....	22
Figura 4. Evolución del volumen de agua depurada y reutilizada 2008-2011 en Catalunya. Fuente: INE (2014). ....	24
Figura 5. Procedencia del agua de abastecimiento del núcleo de Barcelona. Fuente: AMB (2013). ....	25
Figura 6. Procedencia del agua suministrada por Aigües de Barcelona AGBAR. ....	26
Figura 7. Estaciones de Regeneración de Agua asociadas a la cuenca del Río Llobregat. ....	27
Figura 8. Usos del agua reutilizada en el río Llobregat. Fuente: AMB 2014. ....	28
Figura 9. Namibia. Emplazamiento y situación. Fuente: The Common Wealth (2014). ....	29
Figura 10. Recursos y suministro de agua en Windhoek. Namibia. ....	30
Figura 11. Diagrama de árbol, donde el resultado de cada ramificación es la frecuencia absoluta de cada suceso. Fuente: Elaboración propia. ....	35
Figura 12. Página principal ACA y sección de la consulta de datos. Fuente: Agència Catalana de l'Aigua 2014. ....	37
Figura 13. Esquema gráfico del factor de dilución, alfa. ....	39
Figura 14. Etapas en las que se divide el cauce del río Llobregat (156,5 km). Fuente: Elaboración propia. ....	41
Figura 15. Diagrama de flujo grado de reutilización a lo largo del cauce del río Llobregat. Fuente: Elaboración propia. ....	43
Figura 16. Esquema de cálculo. Indicador de la contaminación, aportación unitaria de sales. .	45
Figura 17. Mapa de cuencas y demarcaciones hidrográficas de Cataluña. Fuente: Agència Catalana de l'Aigua 2014. ....	47
Figura 18. Distrito de Cuenca Fluvial de Catalunya. Fuente: PGDCFCC 2010. ....	47
Figura 19. Cuenca Hidrográfica del río Llobregat y comarcas principales que atraviesa el río. Fuente: Elaboración propia. ....	48
Figura 20. Tipos de Clima Mediterráneo en Catalunya. (Meteocat, 2014). ....	49
Figura 21. Distribución de la población en Catalunya. ....	50
Figura 22. Contribución por cuencas a los recursos principales de Catalunya. Plan de gestión del distrito de cuenca fluvial de Catalunya PGDCFCC 2010. ....	51

Figura 23. Estaciones de Aforo: 1.Castellar de n'Hug, 2.Guardiola de Berguedà, 3. Balsareny, 4. Castellbell i el Vilar y 5. Sant Joan Despí, desde la cabecera hasta la desembocadura respectivamente. Fuente: Elaboración propia.....	52
Figura 24. Caudales Aforados recorrido río Llobregat. Año 2007. ....	54
Figura 25. Caudales Aforados recorrido río Llobregat. Año 2008. ....	55
Figura 26. Caudales Aforados recorrido río Llobregat. Año 2013. ....	56
Figura 27. Caudales Aforados recorrido río Llobregat. Periodo de año 2007-2013. ....	57
Figura 28. Caudal depurado vertido procedente de efluentes de estaciones depuradoras de aguas residuales situadas en el cauce del río Llobregat. Años 2007, 2008 y 2012.....	58
Figura 29. Caudales unitarios y acumulados de los efluentes de vertido EDAR asociadas a la cuenca del río Llobregat. Año 2007 .....	60
Figura 30. Caudales unitarios y acumulados de los efluentes de vertido EDAR asociadas a la cuenca del río Llobregat. Año 2008 .....	62
Figura 31. Caudales unitarios y acumulados de los efluentes de vertido EDAR asociadas a la cuenca del río Llobregat. Año 2012 .....	65
Figura 32. Esquema sobre los caudales de vertido a lo largo del cauce del río Llobregat y de sus afluentes más importantes: Cardener, Anoia y Riera de Rubí.....	66
Figura 33. Procedencia del agua que abastece al área metropolitana de Barcelona. Fuente AMB 2012.....	67
Figura 34. Caudales de captación en el sistema del río Llobregat para los diferentes años de los que se dispone información, 2007-2012. Fuente: Elaboración propia.....	68
Figura 35. Diagrama de sectores según el método de extracción del agua. Año 2007. ....	69
Figura 36. Diagrama de sectores según el método de extracción del agua. Año 2008. ....	70
Figura 37. Diagrama de sectores según el método de extracción del agua. Año 2012. ....	71
Figura 38. Tramo de estudio cabecera del río Llobregat en el T.M de Castellar de n'Hug hasta el pantano de La Baells en el T.M. de Cercs .....	72
Figura 39. Zona de estudio desde la cabecera del río Llobregat hasta la cola del pantano de La Baells.....	73
Figura 40. Cabecera del Llobregat y Arija hasta la confluencia entre los dos.....	74
Figura 42. El Llobregat des de la confluencia del río Bastareny hasta la cola del embalse de La Baells.....	74
Figura 45. Función de distribución de la VA para cada tramo del proceso acumulativo. Año 2008.....	79
Figura 46. Evolución cronológica del grado de reutilización del agua a lo largo del cauce del río Llobregat. Año 2007. ....	80
Figura 47. Función de distribución de la VA para cada tramo del proceso acumulativo. Año 2008.....	83

---

Figura 48. Evolución cronológica del grado de reutilización del agua a lo largo del cauce del río Llobregat. Año 2008. ....	84
Figura 49. Función de distribución de la VA para cada tramo del proceso acumulativo. Año 2008.....	87
Figura 50. Evolución cronológica del grado de reutilización del agua a lo largo del cauce del río Llobregat. Año 2008. ....	88
Figura 51. Factor de dilución, para los diferentes periodos de tiempo de estudio. 2007, 2008 y 2012.....	89
Figura 52. Frecuencia Absoluta del número de veces que se ha utilizado 1 ud de volumen de agua para diferentes periodos de tiempo, 2007 y 2008, bienio de sequía y 2012, episodio normal.....	90

**INDICE DE TABLAS**

Tabla 1. Volumen anual utilizado según los diferentes usos, 2008. PRAC 2009.....	22
Tabla 2. Pronóstico para la reutilización prevista para el primer horizonte temporal del Programa de Reutilización del Agua de Catalunya (2009), acceso febrero 2014 ACA.....	22
Tabla 3. Volumen anual previsión según los diferentes usos. 2015.....	23
Tabla 4. Instalaciones destacables promovidas por la Agència Catalana de l'Aigua. Programa de Reutilización del Agua de Catalunya (2009), acceso febrero 2014 ACA. ....	23
Tabla 5. Datos sobre volúmenes de agua residuales tratadas y volumen de agua reutilizada. Fuente: Instituto Nacional de Estadística INE 2014.....	24
Tabla 6. Procedencia y volumen del agua de abastecimiento del núcleo de Barcelona. Fuente: AMB (2013). ....	25
Tabla 7. Evolución de la reutilización en la parte baja del río Llobregat. Fuente: AMB (2012)..	27
Tabla 8. Estaciones de aforo existentes a lo largo del cauce del río Llobregat. Fuente: Elaboración propia. ....	40
Tabla 9. Parámetros Experimento Aleatorio. Diagrama de árbol. Fuente: Elaboración propia..	44
Tabla 10. Coordenadas UTM estaciones de aforo del cauce principal río Llobregat. Fuente: Elaboración propia. ....	52
Tabla 11. Periodo de tiempo para el que se tiene una serie completa anual.....	53
Tabla 12. Caudales promedio aforados durante el año 2007. Máximo y mínimo. ....	53
Tabla 13. Caudales promedio aforados durante el año 2008. Máximo y mínimo. ....	54
Tabla 14. Caudales promedio aforados durante el año 2013. Máximo y mínimo. ....	55
Tabla 15. Caudales aforados de los que se dispone la serie completa, m <sup>3</sup> /día. ....	56
Tabla 16. Número total de estaciones depuradoras de aguas residuales a lo largo del cauce del río Llobregat durante los años 2007, 2008 y 2012. Fuente: Elaboración propia.....	58
Tabla 17. Caudal depurado vertido procedente de efluentes de estaciones depuradoras de aguas residuales situadas en el cauce del río Llobregat durante los años 2007, 2008 y 2012. ....	58
Tabla 18. Datos EDAR que vierten al río Llobregat. Año 2007. ....	59
Tabla 19. Tipología de EDAR a lo largo del cauce principal y de sus afluentes. Parámetros estadísticos y caudal total. Año 2007.....	60
Tabla 20. Datos EDAR que vierten al río Llobregat. Año 2008. ....	61
Tabla 21. Tipología de EDAR a lo largo del cauce principal y de sus afluentes. Parámetros estadísticos y caudal total. Año 2008.....	63
Tabla 22. Datos EDAR que vierten al río Llobregat. Año 2012. ....	64

Tabla 23. Datos de captaciones de los sistemas Ter y Llobregat. Fuente: Área Metropolitana de Barcelona, 2012. ....	67
Tabla 24. Captaciones del sistema del río Llobregat. Fuente: Agència Catalana de L'aigua. ...	68
Tabla 25. Incremento anual valor de captación en el sistema del río Llobregat. Fuente: Elaboración propia. ....	68
Tabla 26. Captaciones en el río Llobregat año 2007. ....	69
Tabla 27. Captaciones en el río Llobregat año 2008. ....	70
Tabla 28. Captaciones en el río Llobregat año 2012. ....	70
Tabla 29. Incremento anual e incremento total captaciones río Llobregat. Fuente: Elaboración propia. ....	71
Tabla 30. Definición de las masas de agua en la cabecera del río Llobregat. ....	73
Tabla 31. Número de muestras analizadas para cada periodo de tiempo. ....	75
Tabla 32. Cantidad de cloruros en cada una de las masas de la cabecera del Río Llobregat ..	75
Tabla 33. Factor de dilución para cada uno de los tramos del río de los que se dispone de datos de caudal. Año 2007. ....	76
Tabla 34. Clasificación de cada tramo para los que se ha de realizar el experimento objeto de este estudio. Año 2007. ....	77
Tabla 35. Frecuencias absolutas acumulativas para cada tramo de estudio. Año 2007. ....	79
Tabla 36. Factor de dilución para cada uno de los tramos del río de los que se dispone de datos de caudal. Año 2008. ....	81
Tabla 37. Clasificación de cada tramo para los que se ha de realizar el experimento objeto de este estudio. Año 2008. ....	81
Tabla 38. Frecuencias absolutas acumulativas para cada tramo de estudio. Año 2008. ....	83
Tabla 39. Factor de dilución en cada uno de los tramos del río de los que se disponen datos de caudal. Año 2012. ....	85
Tabla 40. Clasificación de cada tramo para los que se ha de realizar el experimento objeto de este estudio. Año 2012. ....	85
Tabla 41. Frecuencias absolutas acumulativas para cada tramo de estudio. Año 2012. ....	87
Tabla 42 Probabilidades de que 1 unidad de volumen haya sido utilizada 5, 4, 3, 2, 1 y 0 veces. ....	89
Tabla 45. Caudales promedio aforados durante el año 2007. Máximo y mínimo. ....	90
Tabla 32. Cantidad de cloruros en cada una de las masas de la cabecera del Río Llobregat ..	90
Tabla 43. Caudales vertidos procedente EDAR. ....	91
Tabla 45. Caudales promedio aforados durante el año 2007. Máximo y mínimo. ....	91
Tabla 45. Caudales promedio aforados durante el año 2007. Máximo y mínimo. ....	91

---

Tabla 46. Inventario de EDAR en la cuenca del río Llobregat, cauce principal y afluentes. Datos 2012. Fuente: Elaboración propia. .... 104

## CAPÍTULO 1

### 1. INTRODUCCIÓN

El hecho de utilizar el cauce de un río como agente emisor y receptor del ciclo natural del agua así como de las operaciones de abastecimiento y saneamiento propias de los seres humanos, ha sido y es una práctica habitual llevada a cabo por las poblaciones situadas aguas abajo a lo largo del cauce de los ríos.

La reutilización incidental (RI) o no planificada de los efluentes depurados que son vertidos a los cursos de agua, es un componente intrínseco del ciclo natural del agua (Mujeriego, R. 2013).

Este proceso, el de la reutilización incidental, existe tradicionalmente desde que los seres humanos establecieron sus primeros asentamientos junto a los cauces de los cursos fluviales para obtener así los recursos que necesitaban en el desarrollo de sus actividades y se ha venido manteniendo a lo largo de la historia.

La práctica lógica y habitual, de establecer un asentamiento humano junto al cauce de un río, convierte a lo que comúnmente se conoce como el ciclo natural del agua, en el ciclo del uso del agua Figura 1.

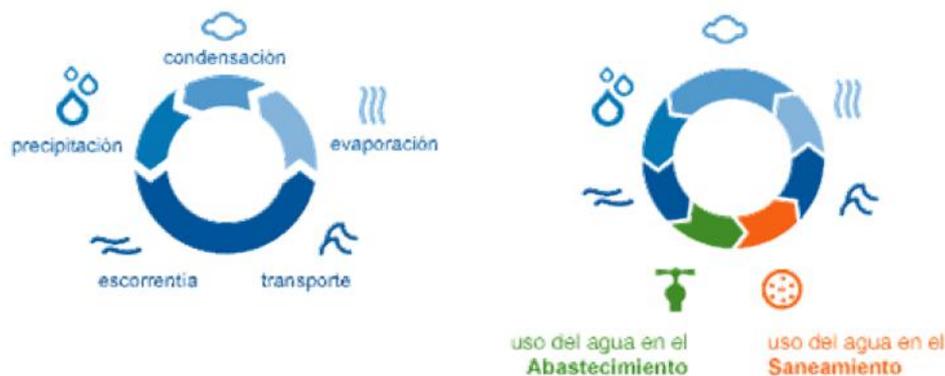


Figura 1. Esquema del ciclo natural del agua y el ciclo del uso del agua. Fuente: Consorcio de Aguas del Gobierno del Principado de Asturias (2014).

Entre los fenómenos naturales de evaporación, condensación, precipitación, escorrentía y transporte, se produce también los procesos de uso del agua para abastecimiento y el uso del agua para saneamiento.

El ciclo del agua ha sido y es desde el origen del planeta un ciclo cerrado por naturaleza, en consecuencia la cantidad de agua que existe en el mundo y que actualmente se utiliza para llevar a cabo las actividades diarias (domésticas e industriales) así como para el propio abastecimiento, es la misma que había en la Tierra hace billones de años, de manera que el agua que una persona utiliza diariamente ha sido utilizada anteriormente por otra persona o ser vivo.

Sin embargo hoy en día el reto de la gestión de los recursos hídricos varía enormemente dependiendo del tipo de asentamiento humano. El espectro de tipologías de asentamientos va desde las zonas con viviendas aisladas y diseminadas,

de muy baja densidad, habituales en las zonas rurales, pasando por los pueblos y pequeñas localidades, hasta las ciudades y grandes urbes densamente pobladas.

En muchas ocasiones además, el crecimiento poblacional entorno a un territorio, no coincide con el foco principal de una de las fuentes naturales de abastecimiento, provocando así un estrés hídrico adicional a resolver por los gestores de los propios recursos del agua.

En el segundo informe publicado por las Naciones Unidas ya se enuncia que la mitad de la población del planeta y la mayor parte de la actividad económica mundial se sitúa en las zonas urbanas y que en la actualidad, las grandes ciudades son las que suponen un desafío particular ya que tan sólo 400 de éstas ciudades en el mundo supera el millón de habitantes.

El incremento registrado por las dotaciones de agua de abastecimiento, junto con el aumento de población experimentado por numerosas zonas urbanas, ha hecho que las fuentes de abastecimiento tradicionales sean insuficientes para atender las demandas actuales (Mujeriego, R. 2013).

Si a las causas anteriores se le añade el condicionante de una distribución espacial de la población irracional, cada vez más alejada de las fuentes de suministro naturales (ciudades situadas en pleno desierto), y dentro de un contexto ambiental a expensas de los efectos del cambio climático, es todavía más acusado el déficit hídrico.

Por tanto la necesidad de un volumen de agua para abastecimiento en cantidad, calidad, próximo y de fácil explotación es el mayor de los retos de la gestión actual del agua.

En base a la situación del momento, se hace necesario la planificación de los recursos hídricos desde un punto de vista de conjunto, integral y no, holístico y fragmentado como se venía haciendo hasta el momento, lo que se entiendo hoy en día por Gestión Integral de los Recursos Hídricos (GIRH).

La planificación hidrológica, dentro del contexto general de la gestión integral de los recursos hídricos ha de tener en cuenta al proceso de la reutilización del agua, como una herramienta más en la gestión integral de los recursos hídricos.

La Reutilización Directa (RD) o planificada del agua se define como el aprovechamiento directo de efluentes más o menos depurados y/o regenerados, mediante su transporte hasta el punto de utilización a través de un conducto específico, sin mediar para ello la existencia de un vertido o una dilución en un curso natural de agua (Mujeriego, R. 2013).

La reutilización planificada es un componente esencial dentro de la gestión integral de los recursos hídricos, gracias a la aportación de volumen de agua adicional que puede generar. El volumen de agua que se genera permite aumentar la disponibilidad neta y constante de agua, además de poseer de una ubicación privilegiada para explotar el recurso. Introducir la reutilización planificada del agua en la gestión de los recursos hídricos permite obtener un mayor margen de actuación frente a la variabilidad propia de los recursos más vulnerables, los recursos naturales.

La utilización de agua regenerada como nuevo fuente de abastecimiento en la gestión para usos como por ejemplo la agricultura, el uso industrial, recreacional, urbano y ambiental está oficialmente reconocido y regulado en España por el Real Decreto 1620/2007 Yagüe, J (2011), Anexo 0.

Sin embargo la calidad del agua regenerada mediante la tecnología de los procesos avanzados ha llegado a equipararse a la calidad correspondiente al agua prepotable empleadas para la producción de agua de consumo humano, incluso a la calidad del agua de consumo humano, debido a las exigencias introducidas para gestionar los riesgos sanitarios, Sanz Ataz, J. (2012).

El avance tecnológico experimentado a lo largo de los años para los procesos unitarios empleados en llevar a cabo el tratamiento básico del agua y durante la última década en la regeneración avanzada, ha permitido aumentar considerablemente la eficacia y fiabilidad de los procesos, de acuerdo con los parámetros de calidad exigibles.

La tecnología disponible existente es capaz de tratar el agua prácticamente a cualquier nivel de calidad requerido, independientemente del uso final para el que esté destinada. Actualmente se realizan investigaciones sobre la optimización de los procesos existentes y también sobre nuevas tecnologías enfocadas a los objetivos del tratamiento de los elementos patógenos y químicos, *Guidelines for Water Reuse* (2012).

El aumento del intervalo de confianza de los procesos gracias a la tecnología, ha de ser una causa para fomentar el mayor alcance que la reutilización planificada del agua debe conseguir y ser todavía mayor jugando un papel estratégico para los gestores encargados de la planificación hidrológica, con una mayor incidencia en zonas semi-áridas donde el déficit hídrico sea más acusado, bien por la climatología o por la ubicación.

La presente tesina pretende dar una visión más objetiva de la reutilización planificada del agua sobre todo para el uso potable a través de la evidencia de los procesos y prácticas naturales y habituales llevados a cabo en el día a día.

Así es que en esta tesina se pretende demostrar que la reutilización potable indirecta (RPI) es hoy en día una práctica corriente y que lo ha sido siempre, el agua ha sido usada y reutilizada en todo el mundo por las comunidades situadas aguas abajo de los cauces.

A través del estudio de un caso real de una de las cuencas internas de Catalunya se va a intentar cuantificar el porcentaje de caudal circulante que más tarde es reutilizado aguas abajo, de manera que al evidenciar la porción de agua que es reutilizada de manera indirecta para potabilizar permita dar una visión más amplia y de aceptación de cara a la reutilización potable directa.

La evaluación de los resultados experimentales obtenidos y la evaluación del porcentaje real de agua que procede de un vertido de aguas residuales y que es reutilizado, permite valorar el potencial que la reutilización potable del agua ofrece.

La obtención de datos numéricos que certifiquen la existencia de la reutilización incidental debe ser el primer paso, combinado conjuntamente con otras actuaciones, para promover una percepción pública de aceptación de prácticas de reutilización potable directa.



## CAPÍTULO 2

### 2. OBJETIVOS

El objetivo principal del presente estudio es el de cuantificar el grado de reutilización potable indirecta existente en las cuencas fluviales internas de Catalunya, con el fin de promover una percepción pública, nacional e internacional, más objetiva y favorable a la reutilización directa o planificada del agua dentro del contexto de la potabilización.

Para ello se va a estudiar la composición y la variabilidad de una unidad de volumen (1 litro, 1 metro cúbico, etc.) del caudal que circula por un río de una de las cuencas internas de Catalunya, el río Llobregat (156,5 km) desde la cabecera hasta la desembocadura del mismo.

Los objetivos específicos de esta tesina son:

1. Calcular la fracción de agua que ha sido utilizada aguas arriba de uno o varios puntos debido al uso urbano, a través de un factor de dilución de vertido urbano, factor de dilución  $\alpha$ .
2. Calcular el grado de reutilización aguas arriba de uno o varios puntos, a través del método probabilístico del diagrama de árbol.
3. Calcular la fracción de agua, que ha sido utilizada y/o reutilizada una o varias veces a lo largo del cauce del río Llobregat.
4. Dar a conocer la variabilidad de los parámetros de la reutilización para diferentes periodos de tiempo; 1) Bienio de sequía 2007-2008 y 2) Periodo normal 2012.
5. Estimar la cantidad de iones cloruro que una persona aporta a una unidad de volumen de agua, debido a la utilización del mismo.
6. Estimar un indicador o traza de la utilización del agua, que permita calcular la cantidad de habitantes-equivalente que han utilizado previamente un determinado volumen que circula por el cauce del río aguas arriba de un punto de control, a partir de la concentración de un determinado ión presente en el agua.
7. Dar a conocer abiertamente la existencia de la reutilización indirecta del agua como proceso y práctica habitual implícita en el ciclo natural del agua.
8. Documentar la mejora significativa que implica la reutilización directa o planificada de los efluentes en la gestión integrada de los recursos hídricos.

Los países en vías de desarrollo que experimentan crecimientos de población exponenciales deben encontrar en la reutilización planificada del agua para diferentes usos, un elemento clave de sostenibilidad, desarrollo y vanguardismo a la hora de hacer frente a la gestión del abastecimiento de la población y garantizar la dotación.

La reutilización potable planificada es una práctica que genera un recurso hídrico no convencional, que puede resultar clave para abordar cuestiones como son por ejemplo: 1) la insuficiencia de las fuentes tradicionales, 2) la necesidad de ampliar los abastecimientos existentes y 3) la necesidad de mejorar la gestión de los vertidos de aguas depuradas, entre otros.



## CAPÍTULO 3

### 3. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1. INTRODUCCIÓN

La tarea a llevar a cabo en este estudio, es la de evaluar la composición del caudal que circula por un río de una de las cuencas internas de Catalunya y la evolución del mismo en el tiempo y en el recorrido desde que nace hasta que desemboca en el mar (desde la cabecera hasta la desembocadura).

De la totalidad del caudal que circula por el cauce de un río, en esta tesina se estudia únicamente la proporción de agua que ha sido utilizada por la población aguas arriba de varios puntos o estaciones de control en concreto, y que por lo tanto corresponde a los vertidos procedentes de estaciones depuradoras de aguas residuales (EDAR).

Se estudia de manera representativa una de las cuencas internas de Catalunya, la cuenca del río Llobregat (156,5 km). Se escoge a la cuenca del río Llobregat por ser la más representativa de las cuencas que forman parte de la demarcación hidrográfica de Catalunya, no obstante sería interesante ampliar el estudio a otras, con el fin de establecer criterios sobre la RPD más generales y representativos.

La administración competente en materia de hidráulica que gestiona las cuencas internas de Catalunya es la Agència Catalana de l'Aigua (ACA), fundada en el año 2000.

El ACA es el ente público encargado de la gestión y la planificación del agua del Gobierno de la Generalitat de Catalunya y su creación se fundamenta en los principios de la Directiva Marco del Agua (2000/60/CE).

La cuenca del Río Llobregat es la cuenca interna más grande de Catalunya y está situada en el Noreste de España, al Sur de la Provincia de Barcelona. Tiene una extensión de 156,5 km cubriendo una zona de influencia de 4.948 km<sup>2</sup>. y sirve de fuente de suministro a más de un 45% del área metropolitana de Barcelona según los datos del Àrea Metropolitana de Barcelona (AMB) de 2012.

El clima asociado a la zona en la que se encuentra ubicada la cuenca fluvial del río Llobregat y que por tanto lo caracteriza, es el de un régimen de clima semiárido, que se describe por un caudal variable que puede ir de los pocos metros cúbicos por segundo en el nacimiento hasta varios cientos de metros cúbicos por segundo en la zona de la desembocadura.

Los afluentes más importantes del río Llobregat son el Cardener y el Anoia con 106,5 km y 68 km respectivamente.

A través del recorrido de las aguas existe una proporción elevada de descarga de efluentes que provienen del tratamiento de aguas residuales urbanas e industriales, por lo que la contaminación junto con el exceso de salinidad, debido a la sobreexplotación de los acuíferos de la desembocadura, son los principales problemas a los que se enfrenta la autoridad competente en materia de agua que se encarga de la gestión del propio río, el ACA.

Existen en la actualidad 71 estaciones depuradoras de aguas residuales que prestan servicio y que están repartidas a lo largo del recorrido del río Llobregat y de sus afluentes, ACA (2012).

El caudal promedio de las EDAR es de 7.150 m<sup>3</sup>/día según los datos facilitados por la Agencia Catalana de l'Aigua (2012).

En el tramo más bajo de la cuenca se sitúan dos estaciones de tratamiento de agua potable (ETAP), en los términos municipales de Sant Joan Despí y Abrera, que sirven agua a aproximadamente tres millones de habitantes de 36 municipios que forman parte del área metropolitana de Barcelona, Aigües de Barcelona (2014).

A lo largo del recorrido del río, hay cinco estaciones de aforo que controlan el paso de caudal y de las que se dispone de un dato promedio mensual. La ubicación de las mismas es desde la cabecera, 1ª estación en Castellar de n'Hug, hasta la desembocadura, 5ª estación en Sant Joan Despí.

Con el fin de establecer conclusiones que puedan resultar significativas e interesantes se evalúa la composición del caudal, a partir de los datos aforados disponibles, para diferentes periodos de tiempo: 1) Bienio de sequía 2007-2008 y 2) Un periodo de tiempo normal 2013

Del estudio sobre el caudal circulante y la proporción que corresponde a los vertidos aguas arriba del río, ha de servir para cuantificar y documentar la existencia de la práctica de la reutilización indirecta en las cuencas de los ríos que por su ubicación e importancia forman parte del ciclo del uso del agua.

No obstante el modelo de reutilización incidental a través de la dilución de los efluentes en el cauce de los ríos, está implantado y ocurre a sabiendas por parte de las administraciones. En general la población suele aceptar la reutilización potable del agua a través de esta práctica, aunque sea desde un punto de vista del desconocimiento del proceso real.

La percepción positiva que la práctica básica de reutilización incidental del agua despierta se transforma en negativa cuando el planteamiento de la reutilización pasa a ser el de la reutilización planificada o directa:

La reutilización directa o planificada del agua tiene un origen relativamente reciente y según Rafael Mujeriego (2013) se entiende como el aprovechamiento directo de efluentes más o menos depurados y/o regenerados, mediante su transporte hasta el punto de utilización a través de un conducto específico, sin mediar para ello la existencia de un vertido o una dilución en un curso natural del agua.

En la actualidad para que en España exista una gran aceptación de la reutilización directa del agua, se han de crear programas multidisciplinarios en torno a la concienciación sobre el uso eficiente y de la aceptación de la reutilización directa a través de la información de prácticas comunes como la reutilización indirecta.

Si se analiza el caso concreto de Namibia y se toma como ejemplo la capital Windhoek, los resultados obtenidos son positivamente altos cuando los temas a tratar se incluyen con normalidad en la vida cotidiana y en los programas escolares. Como dice J. Lahnsteriner y G. Lempert (2007) el público suele aceptar los esquemas asociados a la reutilización directa del agua si son debidamente informados sobre los procesos que los llevan a cabo.

La circunstancia de que la reutilización del agua suele plantearse en muchos casos como la única fuente alternativa de agua para un aprovechamiento y el hecho de que en muchos casos exista la posibilidad de un contacto directo con personas, animales o plantas, que pueda afectar a la salud o el desarrollo, hacen que la fiabilidad de las plantas de regeneración de agua deba ser elevada (Mujeriego, R. 2013).

La intención del presente trabajo es la de dar a conocer el alcance real de la reutilización potable indirecta existente a través del estudio de una cuenca interna de Catalunya y documentando la notable mejora que representa la implantación de algún proceso de reutilización directa, con respecto a la fiabilidad de los procesos de regeneración existentes, la calidad del agua regenerada y la proporción de agua regenerada que podría sustituir a una captación convencional de agua subterránea o superficial, con la mejora ambiental que esto supone.

### 3.2. ANTECEDENTES

La reutilización del agua de un modo más planificado, tiene su origen en el campo de la agricultura, más tarde es el medio ambiente y los usos recreativos u ornamentales los que forman parte de la planificación.

En el año 1912 en la ciudad de San Francisco, pionera en temas de reutilización, se implanta el primer sistema de reutilización de agua para riego urbano en el famoso Golden Gate Park.

Posteriormente en el año 1965, Israel empieza a utilizar agua regenerada para el riego de campos de cultivo. Sustainable Solutions for a Thirsty Planet (2014).

Durante la década de los 70, es la conciencia sobre la protección del medio ambiente frente a los vertidos de aguas residuales urbanas procedentes de estaciones depuradoras de aguas residuales, la que impulsa en los Estados Unidos (EEUU), toda una serie de normativa respecto al tratamiento de las aguas residuales, *The Clean Water Act and amendments* (1972-1977), que obliga a implantar procedimientos más avanzados como es por ejemplo el tratamiento secundario para todas las autorizaciones de vertido de los tratamientos de las aguas residuales urbanas.

En Europa, es la Directiva Europea del Consejo (1991/271/CEE) del 21 de mayo de 1991 sobre el tratamiento de las aguas residuales urbanas, veinte años después que EEUU, la que tiene por objeto proteger al medio ambiente de los efectos negativos de los vertidos procedentes de estaciones de tratamiento de aguas residuales.

Este marco previo que obliga a los gestores y explotadores de los servicios de tratamiento y depuración a investigar en tecnología para alcanzar la calidad mínima exigible de los efluentes vertidos, permite años después el planteamiento de la reutilización del agua para una gama más amplia de usos, que no únicamente el del riego agrícola.

La necesidad actual de aumentar los recursos hídricos disponibles para hacer frente al consumo humano ha generado un gran interés por la reutilización potable directa, y gracias a la experiencia acumulada en el proceso de depuración y de regeneración y dada la calidad desde el punto de vista sanitario y ambiental que los sistemas de depuración y regeneración son capaces de alcanzar, se plantea el desarrollo de la reutilización potable directa como parte de los recursos hídricos disponibles para una comunidad.

La reutilización potable del agua ha existido desde el inicio de la vida. El hecho de que la humanidad estableciese sus asentamientos cerca de las fuentes naturales de suministro para abastecer sus necesidades, lleva implícito la descarga de los vertidos de aguas residuales sobre el medio receptor y en consecuencia la reutilización incidental aguas abajo de los puntos de vertido de los cauces por otros asentamientos.

En la actualidad el modelo implantado a sabiendas por parte de las administraciones es exactamente idéntico al de la práctica ancestral.

Las estaciones de tratamiento de agua potable se sitúan en general “aguas arriba” de la población a la que abastecen donde captan el agua que circula por el río para potabilizar y servir a la población. De la misma manera las estaciones depuradoras de aguas residuales, se sitúan en general estratégicamente “aguas abajo” de los municipios a los que sirven, y realizan los vertidos de efluentes del agua depurada más o menos tratada “aguas abajo” del río.

Sin embargo el punto de vertido aguas abajo de una población puede ser el caudal circulante del río aguas arriba de la población que se sitúa en un tramo posterior del río.

Por lo que la práctica de la reutilización potable es existente y es generalmente aceptada por la población cuando para ello existe una dilución previa, bien en el río o en embalses de regulación, como en el caso de la Figura 2.

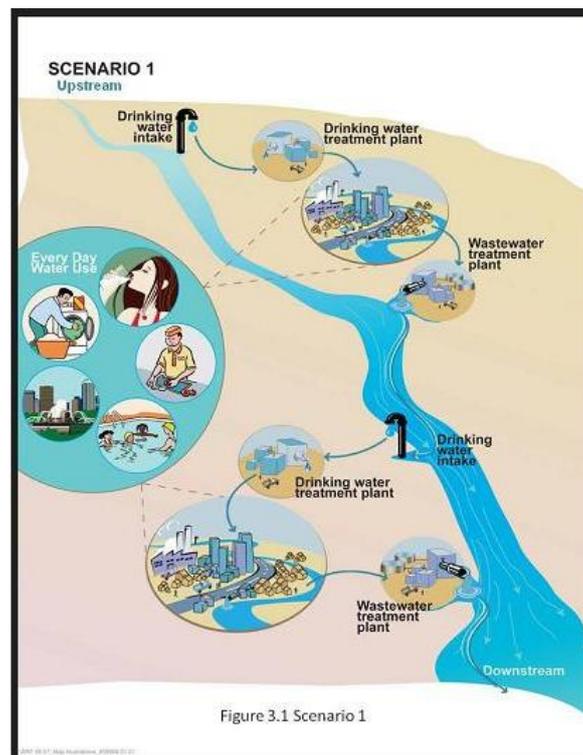


Figura 2. Primer escenario utilizado en el estudio sobre la aceptación pública de la reutilización potable del agua. Fuente: WaterReuse Research Foundation (2014).

Sin embargo publicaciones actuales como la de Cotruvo, J (2014) *Direct potable reuse Then and now* (Water Reuse & Desalination), en la que se enuncia que almacenar agua tratada de alta calidad en balsas o embalses sin determinada protección, probablemente resulta contraproducente, ya que se puede producir una

recontaminación del agua que poseía una cualidades altas en un primer momento y a pesar de las ventajas que el almacenamiento puede presentar desde el punto de vista del control y la regulación.

El concepto anterior hace pensar que en muchas ocasiones el avance que se realiza desde el punto de vista de la calidad se pierde por el simple hecho de “diluir” y se suele pasar por alto que como dice Rafael Mujeriego (2013), la creciente sensibilidad ambiental y sobre todo sanitaria de las poblaciones en posible contacto con el agua regenerada están propiciando que la calidad sanitaria del agua regenerada se aproxime cada vez más, especialmente en zonas desarrolladas, a la “calidad analítica” de un agua potable.

Teniendo en cuenta éstas publicaciones, diluir un agua que haya sido previamente regenerada para un uso determinado puede resultar contraproducente e innecesario.

### **3.3. GESTIÓN INTEGRADA DE LOS RECURSOS HÍDRICOS**

El agua y en su contexto más general los recursos hídricos, son uno de los componentes vitales más importantes, sino el más importante del planeta de los que intervienen en el ciclo de la vida o biosfera.

Por esta y otras razones, las Naciones Unidas considera que el agua es un factor determinante en el desarrollo económico y social del planeta, ONU (2014).

Los recursos hídricos forman parte de un sistema, constituido por un conjunto de elementos que se relacionan entre sí y con todos los demás elementos de la biosfera, de modo que una modificación puntual de uno de los elementos genera una alteración en el resto, cuya actividad conjunta viene determinada por flujos de energía, Mujeriego, R. (2013).

La Directiva Marco del Agua (2000/60/CE) que tiene por objetivo principal el de establecer un marco para la protección de las masas de agua superficiales continentales, las aguas de transición, las aguas costeras y las aguas subterráneas enuncia en el punto 9 que considera necesario desarrollar una política comunitaria integrada de aguas y es a partir de este momento en el año 2000, donde surge por primera vez el concepto integral para la gestión de los recursos hídricos en el ámbito normativo Europeo.

Los recursos hídricos tienen la función de abastecer una demanda humana que va en aumento, mientras han de enfrentarse a una disponibilidad que disminuye y que se ve afectada por una variabilidad temporal y espacial que en los últimos periodos de tiempo y según los pronósticos se acentúa a consecuencia del cambio climático.

La preocupación ante la disponibilidad y la variabilidad sobre la distribución de las masas de agua en el tiempo y el espacio ha llevado a las autoridades a plantearse un cambio en el paradigma de la gestión de todos los recursos naturales en general y del ciclo del agua en particular.

Los gestores de los recursos hídricos se enfrentan a la elaboración y regulación de una gestión sostenible bajo el reto de la desconfianza del propio recurso.

El principal objetivo de la Gestión Integral de los Recursos Hídricos (GIRH), dado el carácter vital del agua la gestión de la misma ha de ser un tema a tratar con gran responsabilidad e importancia, el tradicional enfoque fragmentado ya no resulta válido

y se hace esencial un enfoque holístico para la gestión del ciclo del agua dentro del ciclo de la vida, ONU (2014).

La herramienta elegida para llevar a cabo la aplicación de la normativa europea dentro del estado español son los planes hidrológicos de cuenca, de cada una de las demarcaciones hidrográficas, encargadas de velar por la protección cuantitativa y cualitativa de las masas de agua entre otras cosas.

A pesar de que en las últimas décadas, la humanidad se ha concienciado progresivamente de la necesidad imperativa de preservar los ecosistemas en los que el agua es el principal componente, como se dice en el resumen del segundo informe de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos en el mundo (2006), la situación está todavía en un punto lejano de alcanzar un uso racional de estos recursos naturales que si bien son, en parte renovables, se corre el peligro de que el incremento de su uso y la contaminación superen la capacidad auto regeneradora de los mismos.

La reutilización del agua, es un tema a tener en cuenta en la GIRH gracias a la capacidad de autosuficiencia neta del propio recurso que se puede generar y por tener naturaleza de nexo de unión entre la gestión y explotación del agua residual y del agua de abastecimiento respectivamente. Se considera una acción fundamental para la aplicación del objetivo principal de la normativa europea, la gestión integrada de los recursos hídricos dentro del contexto general de biosfera.

La reutilización planificada del agua aporta principalmente dos beneficios 1) disminuir la afección de los recursos existentes y 2) la cualidad de generar un recurso adicional de las mismas o mejores características que los propios recursos naturales.

Una de las grandes ventajas del recurso no convencional del que se dispone con la práctica de la reutilización del agua, es la de la creación de un nuevo volumen de agua constante que está controlado temporal y espacialmente y que es independiente por naturaleza.

Además entre otras ventajas, gracias al aprovechamiento de la RPD se reduce la cantidad de nutrientes vertidos procedentes de las aguas residuales urbanas depuradas al medio, otro de los principales problemas de contaminación y que es también objetivo de eliminación en la DMA.

Es por tanto la reutilización del agua un elemento clave en la gestión integral de los recursos hídricos y una práctica que se antoja necesaria a tener en cuenta, para hacer frente a la inestabilidad temporal y espacial de los recursos convencionales de agua, inestabilidad que además se pronostica cada vez más extrema dentro del contexto del cambio climático global.

### **3.4. REUTILIZACIÓN PLANIFICADA DEL AGUA.**

El proceso de tratamiento necesario a llevar a cabo para que un agua depurada pueda ser reutilizada se denomina generalmente regeneración y el resultado de dicho proceso es el agua regenerada, Mujeriego, R. (2007).

La diferencia principal entre la reutilización planificada y la incidental, es la existencia de un proyecto de regeneración de agua, que defina, regule y controle la práctica de la reutilización.

La herramienta que se utiliza para llevar a cabo la práctica de la reutilización planificada es la implantación de los proyectos de regeneración que han de cumplir dos requisitos fundamentales:

La implantación de un proyecto de regeneración de agua tiene dos requisitos esenciales y complementarios a la vez: 1) Definir los niveles de calidad adecuados para cada uno de los posibles usos que se piense dar al agua y 2) Establecer los procesos de tratamiento y los límites de calidad del efluente recomendados para cada uno de los usos previstos. Mujeriego, R. (2007).

Una vez definidos los niveles de calidad adecuados en función del uso y los tratamientos necesarios para alcanzarlos, la implantación de los proyectos de regeneración necesitan de un programa de reutilización planificada.

La reutilización de un agua regenerada consiste en poner el volumen que se genera a disposición del usuario para el que ha sido generada. Para ello éste aprovechamiento requiere de:

1. Infraestructura de transporte, desde la planta de regeneración hasta el lugar de la reutilización.
2. Almacenamiento o regulación temporal de caudal (Depósito regulador).
3. Normativa de utilización del agua, buenas prácticas de uso.

Los objetivos principales de la reutilización planificada del agua en países con recursos hídricos suficientes son:

1. Ampliar los abastecimientos disponibles, generando un recurso no convencional más económico que los trasvases y la desalinización (Melgarejo, J. 2009).
2. Mejorar la gestión de los vertidos de aguas depuradas. (Disminuir los vertidos de efluentes al medio receptor).
3. Enfrentarse a posibles déficits hídricos crónicos y estacionales que afecten a la actividad socioeconómica del país.

Históricamente la población del planeta ha ido experimentando variaciones en las dotaciones medias de consumo de agua potable. Estas variaciones en la mayoría de las veces están directamente ligadas a la tasa de crecimiento poblacional y esto se ha venido traduciendo en muchas ocasiones en una insuficiencia en las fuentes naturales de abastecimiento tradicionales cuando el crecimiento ha sido superior a la propia capacidad o a la capacidad de explotación de los recursos.

A parte de los excesivos incrementos de la población en algunas zonas del planeta existen también otras causas específicas que explican la insuficiencia hídrica o la presión ambiental negativa que se ejerce sobre los recursos naturales: 1) Las limitaciones ambientales y 2) Las sequías plurianuales entre otras, que en las últimas décadas ha hecho plantearse a la población la utilización de las aguas depuradas como fuente adicional de agua para aprovechamientos que en un principio, que no requieran una calidad de agua tan exigente como la calidad del agua pre-potable. Melgarejo, J. (2009).

En definitiva, existe una gran variedad de objetivos específicos que supone la práctica de la reutilización planificada del agua y que se enumeran a continuación:

1. Recurso hídrico estable condicionado por el abastecimiento que en zonas costeras además aumenta en épocas estivales. El recurso generado puede ser

- neto o bien alternativo permitiendo la liberalización de recursos de mayor calidad que pueden ser destinados a usos más exigentes.
2. Recurso más barato que el resto de recursos que aumenta la oferta del agua como son por ejemplo la desalinización y los trasvases. El descuento que la reutilización del agua supone frente a los otros recursos generados, subyace en el menor consumo de energía, (los costes de explotación para la reutilización básica, electrodiálisis reversible y ultrafiltración y ósmosis inversa son de 0,032; 0,13; 0,20 €/m<sup>3</sup> respectivamente, Mujeriego, R. 2013)
  3. La reutilización del agua depurada resulta ventajosa económicamente hablando, cuando la concesión del vertido sea de mayor exigencia que los requisitos de calidad del uso al que se pueda destinar.
  4. El uso del agua regenerada reduce el consumo de fertilizantes en el riego agrícola y de jardinería, al aprovecharse los componentes minerales del propio recurso.
  5. Fuente de abastecimiento más responsable con el medio ambiente, reduce emisiones de CO<sub>2</sub> a raíz de los menores consumos energéticos.
  6. Aumento en la eficiencia del proceso de degradación de la materia carbonatada difícil de mineralizar, en los usos destinados al riego agrícola y jardinería, a causa de los procesos biológicos llevados a cabo a través de la infiltración en el suelo.
  7. Utilización del agua como caudal ecológico en zonas donde sea más necesario el aporte de agua.
  8. Desde el punto de vista geográfico, la reutilización del agua tiene una alta importancia en zonas con las siguientes características:
    - a. Zonas o lugares con periodos de sequía cuasi-permanente como por ejemplo la ciudad de Wind-Hoek en Namibia.
    - b. Zonas o países con recursos hidráulicos notables pero con acusados déficits temporales o regionales, como California, Florida, Israel y la España peninsular e insular. (Mujeriego, R. 2006).
    - c. Países con recursos hídricos sometidos a alta presión, debido a los aumentos de la dotación y crecimientos exponenciales de la población: países africanos y asiáticos donde la población emigra de las zonas rurales hacia las zonas urbanas. (Naciones Unidas, 2006).
    - d. Países con un alto coste de explotación de los propios recursos hídricos: ciertos países de África.

La gestión por parte de las demarcaciones hidrográficas de los recursos hídricos en las condiciones anteriores se plantea además con dos objetivos complementarios:

1. La utilización racional del agua evitando consumos excesivos.
2. La reutilización del agua para usos no potables, jardinería, agricultura y la mejora ambiental, creando nuevas dotaciones de agua y evitando el deterioro de las aguas costeras (Mujeriego, R. 2013).

Gestionar los recursos dentro del marco de la gestión integral y tomando a las masas de agua provenientes de la regeneración del agua (recurso no convencional) como parte del ciclo natural del agua, permite ahorrar los recursos de mayor calidad para los usos más exigentes, así como liberar los ecosistemas naturales de la cantidad de vertidos que reciben con las ventajas desde el punto de vista sanitario y ambiental que todo ello conlleva.

Teniendo en cuenta cuáles son los objetivos generales y específicos de la práctica de la reutilización planificada del agua, España es un país de unas características geográficas (déficit regional), climatológicas (sequías plurianuales, régimen de precipitación irregular) y económicas (país turístico por excelencia) que invitan a

favorecer la práctica de la utilización del agua regenerada para determinados aprovechamientos que no requieran de una calidad de agua potable, de acuerdo con los objetivos específicos anteriores.

Finalmente se ha de decir que el progreso y aceptación de la regeneración y reutilización del agua no solo depende del avance en los proyectos y programas de regeneración, sino que la existencia de un marco legal rígido y una voluntad política de llevar a cabo los proyectos combinando los últimos avances tecnológicos con la información pública y continua de la práctica es lo que garantiza el éxito de la reutilización planificada.

### **3.5. NORMATIVA.**

La normativa Española actual que regula la reutilización del agua es el Real Decreto 1620/2007 (RD1620/2007), del 7 de diciembre, por el que se establece el régimen jurídico de la reutilización de las aguas depuradas.

La norma está estructurada a rasgos generales de la siguiente manera:

- Objeto.
- Definiciones.
- Régimen jurídico de la reutilización. Concesión / Autorización. Contratos de Cesión.
- Usos admitidos para las aguas regeneradas y criterios de calidad.
- La reutilización de aguas a través de iniciativas o planes de las Administraciones Públicas.

En la normativa existen un total de 13 tipos de uso diferentes que se agrupan en cinco grupos principales: 1) Uso urbano, 2) Uso agrícola, 3) Uso industrial, 4) Uso recreativo y 5) Uso Ambiental. Explícitamente se prohíbe el uso para consumo humano exceptuando el nivel de catástrofe.

Los parámetros contaminantes que se enumeran en la norma para exigir el criterio mínimo de calidad son: 1) Nematodos Intestinales, 2) Escherichia Coli, 3) Sólidos en Suspensión, 4) Turbidez y 5) Otros contaminantes propios de la autorización de vertido y/o sustancias peligrosas.

El real decreto 1620/2007 es una normativa que destaca por ser exigente con respecto a los parámetros de calidad mínimos así como por la frecuencia de muestreo y de análisis de control.

Anteriormente al decreto no existe en España ninguna normativa específica en temas de reutilización de agua, si bien la normativa general de ordenación del agua como por ejemplo el Reglamento de Dominio Público Hidráulico de 1986 y el texto refundido de la Ley de Aguas de 2001, establece unas directrices jurídico-administrativas a llevar a cabo por los interesados en la concesión / autorización de los efluentes depurados, y una vez obtenida era sanidad quien se encargaba de la viabilidad del proceso. Sin embargo la falta de marco legal resultaba ser un gran problema en cuanto a la complejidad administrativa para legalizar proyectos de regeneración de agua.

Con la actual normativa, se consigue regular a un nivel participativo de todas las administraciones competentes en el ámbito de la reutilización, mediante la vigilancia sanitaria, la promoción y la mejora de los sistemas que permiten alcanzar los parámetros de calidad del agua compatibles con la salud de la población.

Los usos más restrictivos de la normativa, la recarga de acuíferos por inyección directa junto con el uso residencial de riego de jardines privados y descarga de aparatos sanitarios, coinciden con la práctica de la reutilización potable indirecta, cuando en el caso de la recarga del acuífero, coincide con una fuente principal de abastecimiento.

Dentro del contexto mundial, la tendencia entorno a la normativa sobre la reutilización del agua, ha evolucionado generalmente entorno a dos vertientes diferenciadas:

1. Normativa que adopta parámetros de calidad estrictos y menor análisis de control (Normativa California, USEPA)
2. Normativa menos restrictiva con respecto a los parámetros de calidad, basada en las condiciones socio-económicas y epidemiológicas, que aumenta el análisis del control (Organización Mundial de la Salud, OMS)

La tendencia menos restrictiva, tiene unas implicaciones técnicas y económicas en el control de la calidad, que aparte de encarecer el día a día de los procesos, hace de la reutilización una práctica farragosa a la hora de la práctica.

La normativa Española en este sentido se caracteriza más con la segunda vertiente, describir múltiples usos con diferentes criterios de calidad para los mismos parámetros pero con una gran cantidad de análisis de control.

### **3.6. ANTECEDENTES REUTILIZACIÓN PLANIFICADA**

La recogida y tratamiento de las aguas residuales es una necesidad ineludible para la conservación y el uso racional de los recursos hidráulicos. En España, la ejecución del Plan Nacional de Saneamiento y Depuración (1995-2005), concebido para dar cumplimiento a la Directiva 91/271/CEE, ha dotado al país de un importante número de nuevas instalaciones de depuración, a la vez que se mejoraban, ampliaban y adaptaban muchas de las instalaciones existentes.

La implantación de la Directiva 2000/60/CE, por la que se establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas, establece a través de los planes de cuenca unos objetivos ambientales muy exigentes y el Plan Nacional de Calidad de la Aguas, Saneamiento y Depuración (2007-2015) se ha puesto en marcha para contribuir a alcanzar esos objetivos y finalizar la implantación de la 91/271/CEE.

Por otra parte, la reutilización de aguas residuales se ha consolidado como una medida que permite racionalizar el uso de los recursos hídricos y aportar nuevos recursos netos estables y localizados con una mayor influencia en las zonas costeras. La regulación normativa de esta actividad a través del RD1620/2007 y la herramienta de planificación, el Plan Nacional de Reutilización de Aguas Regeneradas (2010), enmarcan el desarrollo de este sector, donde se siguen construyendo nuevas instalaciones y adaptando las existentes para alcanzar los niveles de calidad exigidos.

Los objetivos que se marcan desde el plan nacional de aguas reutilizadas 2010 son los siguientes:

1. Conseguir el vertido cero en zonas costeras. Aprovechar los caudales efluentes vertidos al mar.
2. Sustituir en zonas de interior concesiones de agua prepotable por agua regenerada, para los usos en los que sea viable.
3. Promover las buenas prácticas de reutilización de aguas regeneradas, y estimar las posibilidades futuras en materia de reutilización.

Gracias al Real Decreto RD1620/2007 del régimen jurídico de la reutilización del agua y las normas de calidad relativas aplicables al agua regenerada, España ha realizado un avance importante en relación a la promoción y la mejora de las prácticas de reutilización de cara a la gestión integral de los recursos hídricos, al existir una ordenación administrativa concreta para el desarrollo de los proyectos de regeneración de agua.

Asimismo, el compromiso de los Estados Miembros de alcanzar el buen estado de las aguas antes del 2015, tal y como establece la Directiva Marco del Agua, supone un reto y una obligación para la gestión del agua tener en cuenta la gestión de los efluentes vertidos ya que obliga a proteger y conservar los ecosistemas acuáticos promoviendo un uso sostenible del agua a través de una gestión integral.

### 3.6.1. *En el Mundo*

Históricamente son los Estados Unidos el país con la mayor y la más antigua trayectoria en materia de reutilización y regeneración de aguas. Los estados de California y Florida, son los que poseen mayor número y diversidad de proyectos de reutilización y regeneración de agua.

Desde el año 1918, en que se promulgan las primeras normativas de reutilización en California y hasta el momento, se han desarrollado dos tendencias diferenciadas entorno a la reutilización: 1) La normativa de la Organización Mundial de la Salud, OMS y 2) Las normas y recomendaciones de California (USEPA).

California es el estado con mayor población de los Estados Unidos, casi 40 millones de habitantes. La mayoría de la población se sitúa concentrada en las ciudades de Los Ángeles y San Francisco. A lo largo de la historia el Estado de California ha sufrido varios episodios de sequía plurianuales por lo que bajo estas circunstancias y partiendo de la base de que se trata de un país desarrollado con margen económico para la investigación y el desarrollo, no es de extrañar que se trate del lugar más longevo en cuanto a conocimiento en reutilización de aguas se refiere.

Parte del éxito de los proyectos de los estados de California y Florida está en la elaboración de propuestas bien justificadas y consensuadas por parte de los usuarios, la comunidad educativa (Universidad de California), y la insistencia del estado en la evolución y generación de los experimentos.

Un resultado positivo de este conjunto de premisas fue el Proyecto de Monterey, 1980, que gracias a una aportación estatal de 5 millones de dólares, el apoyo de las entidades regionales de recursos hídricos, el liderazgo investigador y la supervisión de la Universidad de California permitieron demostrar que un efluente secundario (fangos activados), sometido a un proceso completo de tratamiento como el utilizado para la potabilización de un agua (coagulación-floculación, decantación, filtración y desinfección con cloro), podía convertirse en un agua regenerada de calidad "analíticamente potable", Mujeriego, R. (2014).

La normativa del estado de California fue durante muchos años la única referencia legal válida para la reutilización, principalmente porque no se prepararon otras normas durante decenios. Como consecuencia, se ha estado aceptando por muchos políticos, científicos y técnicos como un axioma indiscutible, lo que ha facilitado que se haya adoptado en numerosos lugares, creándose artificialmente una opinión muy favorable a esta normativa entre técnicos y científicos.

### 3.6.2. En España

Las primeras actuaciones en materia de reutilización de aguas en el territorio Español se llevan a cabo gracias a los usuarios interesados en la obtención de los propios recursos para cubrir sus necesidades en forma de consorcios o comunidades.

La práctica de la reutilización se realiza en un primer momento sin ningún tipo de marco regulador, quedando en el aire la fiabilidad de los procesos, los requisitos tecnológicos y la calidad de las aguas entre otras muchas cosas.

Se puede diferenciar en España entre dos periodos de tiempo para los que se consigue alcanzar metas dentro del contexto de la reutilización:

1. Un primer periodo de tiempo comprendido entre los años 1968-2000, en el que se alcanza el primer gran paso para el país en relación a la capacidad propia y tecnológica de las instalaciones de regeneración de agua de calidad.
2. Entre los años 1995 y 2004 se alcanza un segundo paso importante en temas de reutilización de agua, el de documentar el coste real de la regeneración y la reutilización del agua a un nivel de calidad y de gestión integrada.

Ésta última meta resultó ser fundamental para la viabilidad de los proyectos de reutilización de aguas regeneradas en la agricultura. Es difícil promocionar el agua reutilizada frente a los recursos convencionales si el coste es superior y no se encuentra en órdenes de comparación con otros sistemas. Las políticas de subvenciones necesitarían en ese caso un cambio en el enfoque para fomentar la reutilización.

La reutilización planificada dentro del estado Español, evoluciona entorno a la agricultura principalmente.

Consortios y Comunidades de Regantes son los encargados de promocionar los proyectos de reutilización de agua más representativos; El Consorcio de la Marina Baja (Alicante), El Consorcio de la Costa Brava (Girona), La Comunidad de Regantes de Arrato (Vizkaia), etc.

El Consorcio de Aguas de la Marina Baja en Alicante, es uno de los ejemplos más antiguos de reutilización planificada de agua que existe en España y se llevó a cabo hace ya 40 años.

El Consorcio realiza un intercambio de caudales entre los regantes de la zona de la Marina Baja y los usuarios de agua potable de los municipios de la zona desde el año 1968 (Melgarejo, J. 2009). La comunidad de regantes se compromete a utilizar agua reutilizada en los meses de mayor demanda, la época estival, debido al aumento de la población de las zonas costeras, a cambio de que se le proporcione el efluente de las aguas depuradas y/o regeneradas con la calidad mínima requerida para el uso agrícola.

El Consorcio de la Costa Brava (CCB), ha sido una de las instituciones pioneras dentro del conjunto del Estado Español a la hora de desarrollar proyectos de reutilización de agua. En el año 1985 incluso organizó unas jornadas técnicas sobre éstos temas, de repercusión internacional con la participación del Dr. Takashi Asano, entre otros.

Entre los años 1989 y 1992 el CCB implanta un modelo de agua regenerada procedente de la EDAR de Castell-Platja d'Aro para regar campos de golf, mientras a

la vez se realizaba un estudio de seguimiento de la calidad del agua regenerada y de las aplicaciones que en la gestión agronómica podía tener. De las conclusiones obtenidas se establecen unas directrices claves para el uso del agua regenerada para riego.

Durante el periodo de tiempo comprendido entre los años 1994 y 2003, se construyen numerosas estaciones regeneradoras de agua (ERA) en Girona, en las EDAR de: Empuriabrava, Castell-Platja d'Aro, Portbou, Còlera, Port de la Selva y Cadaquès, gracias a la financiación Europea.

Durante la década del 2000, el CCB sigue ampliando el inventario de efluentes a los que se le aplica al tratamiento básico un proceso avanzado, como por ejemplo el tratamiento terciario en Torroella de Montgri, en el municipio de Tossa de Mar, gracias a la financiación autonómica de la Agència Catalana de l'Aigua en este caso.

Entre 1991 y 1995 en Madrid se construye la Planta de Agua Regenerada, La China, que incluye bombeos y red de distribución para llevar a cabo el riego de unas 295 ha de parques y jardines (uso urbano). El mismo volumen es usado para aportar caudal al río Manzanares durante los episodios de sequía (uso ambiental).

También en Madrid en 2010, se firma un acuerdo entre el Canal de Isabel II y la empresa *Holmen Paper Industry* para reutilizar el 100% del agua que los procesos de fabricación consumen, convirtiéndose en la primera industria de Europa que utiliza agua regenerada.

En el año 1995 en Vitoria-Gasteiz, la Comunidad de Regantes de Arrato construye una planta regeneradora de agua y en el año 2004 se lleva a cabo la construcción del primer embalse regulador de aguas regeneradas España.

Otras Comunidades Autónomas con menos experiencia como Castilla la Mancha, en la provincia de Ciudad Real, implanta en el 2003, un proyecto exitoso de reutilización de agua, que usa el efluente de la estación depuradora de agua residual de Tomelloso, para riego agrícola, a través de un canal.

En el año 2000 el Libro Blanco del Agua publicado por el ministerio de Medio Ambiente, preveía para España un volumen máximo de efluentes depurados, una vez finalizado el Plan Nacional de Saneamiento y Depuración 1995-2005 de cumplimiento de la Directiva 91/271/CEE, de unos 3.500 hm<sup>3</sup>/año, de los que aproximadamente 1.200 hm<sup>3</sup>/año podrían ser reutilizados, lo que suponía un 34% del volumen depurado, sin embargo este porcentaje no es alcanzado en los siguientes años según recogen algunos autores.

Sin embargo existen publicaciones que enuncian que en España en el año 2005 se depuraba alrededor de 2.400 hm<sup>3</sup>/año, de los que aproximadamente un 17% se reutilizaron, (Iglesias, 2005), lo que significa unos 408 hm<sup>3</sup>/año. Más tarde en el artículo *Water reuse to rise significantly in Spain* del año 2011 que escribió Jesús Yagüe Córdova (2005) se enuncia un 10% de reutilización en España en el año 2008 y un 12% de reutilización en el año 2009 del volumen depurado respectivamente.

La totalidad de los datos ofrecidos por los autores son significativamente inferiores a las pretensiones del 34% de agua reutilizada del Libro Blanco del Agua (2000).

Desde el punto de vista normativo de los últimos años, la Administración General del Estado ha impulsado un nuevo enfoque en la gestión del agua, basado en la garantía de su disponibilidad y calidad, en su gestión sostenible y eficiente, en la potenciación

de fórmulas de regeneración y reutilización, en la creación de nuevos recursos, en la modernización de regadíos y en el fomento de la investigación y la incorporación de nuevas tecnologías.

La aprobación del Real Decreto 1620/2007, de 7 de diciembre, por el que se establece el régimen jurídico de la reutilización de las aguas depuradas ha supuesto un hito en el marco normativo de la reutilización de aguas en España. Desde su entrada en vigor, se ha impulsado el desarrollo de la reutilización del agua en España ya que permite integrar la reutilización dentro de la planificación de los recursos hídricos, garantizando una adecuada protección de la salud humana y del medioambiente.

Asimismo, el compromiso de los Estados Miembros de alcanzar el buen estado de las aguas antes del 2015, tal y como establece la Directiva Marco del Agua (2000/60/CE), supone un reto para la gestión del agua ya que obliga a proteger y conservar los ecosistemas acuáticos promoviendo un uso sostenible del agua.

A partir de esta nueva situación a tener en cuenta, el Ministerio de Medio Ambiente, pone en marcha a elaboración de un Plan Nacional de Reutilización de Aguas (2010) que pretende generar nuevas fuentes de recurso liberando aguas de mayor calidad para usos más exigentes y consiguiendo una mejora del estado de las aguas.

El Plan Nacional de Reutilización de Aguas 2010, surge pues como una nueva herramienta de gestión que consigue incrementar la garantía de suministro para los usos ya consolidados y mejorar el aprovechamiento de las aguas mediante la sustitución de aguas prepotables por aguas regeneradas. Adicionalmente permitirá aumentar en zona costera la disponibilidad neta de los recursos hídricos.

La tendencia impulsada desde las normativas a través de los planes hidrológicos de cuenca que redactan las demarcaciones hidrográficas, es la de promover el uso y la asignación de los recursos no convencionales, así como de priorizarlos para determinados usos, como son por ejemplo el riego de campos de golf, Plan Hidrológico de las Islas Baleares (2013).

En la actualidad y tras la publicación de los últimos resultados de los estudios de optimización y reutilización de aguas de la Unión Europea, España se sitúa a la cabeza de los países que mejor aprovechan los recursos naturales (ASERSA, 2014).

La reutilización planificada del agua para uso agrícola, recreacional, y más recientemente ambiental y ornamental en España es una práctica habitual llevada a cabo por las administraciones, sin embargo el reto debe ser mayor y el enfoque de la gestión integral debe contemplar la práctica planificada de la reutilización potable del agua con el fin de garantizar la gestión sostenible y la variabilidad de los recursos convencionales.

### 3.6.3. *En Catalunya*

En Cataluña desde la Agència Catalana de l'Aigua se define a la práctica de la reutilización del agua como la fuente alternativa de agua que se utiliza para cualquier uso excluyendo el uso potable.

Se considera agua para reutilizar cualquier efluente de depuradora que sometido a un tratamiento adicional o complementario de regeneración, obtenga la calidad exigible para un uso determinado.

En el año 2009, se redacta la herramienta a partir de la cual se pretende planificar la reutilización del agua, el Programa de Reutilización de Agua de Catalunya (PRAC).

El programa queda enmarcado dentro del contexto normativo de la Planificación Hidrológica de las Cuencas Internas de Catalunya (1998) y sirve para fomentar la reutilización entendida como una actividad de interés público y que es considerada como una fuente de recurso adicional a definir dentro de un marco de gestión integral, y a promover a través de infraestructuras definidas en el mismo plan.

La clasificación de los diferentes usos en función del interés, es la siguiente:

1. Usos de interés general con mejora de la disponibilidad en sistemas deficientes.
2. Usos de interés general, de carácter principalmente ambiental, derivados de la Directiva 2000/60/CE.
3. Usos de interés particular.
4. Otros usos.

El primer uso prioritario que se define, mejora de la disponibilidad, corresponde a prácticas o procesos relacionados con la reutilización potable, ya que engloba prácticas como la recarga de acuíferos o la sustitución de caudales de río.

El Programa de Reutilización del Agua de Catalunya de 2009 enuncia de manera contundente, que la reutilización del agua procedente de estaciones depuradoras de aguas residuales en Cataluña es un hecho y dice así:

“Existen estaciones depuradoras de aguas residuales que vierten sus efluentes a cursos fluviales que más tarde son interceptados aguas abajo por estaciones potabilizadoras de agua para generar agua de abastecimiento potable.”

Este tipo de reutilización, es definida en el plan como Reutilización Indirecta o no planificada, sin embargo el programa de reutilización del agua de Catalunya simplemente hace referencia a la regulación directa o planificada. Sin embargo las actuaciones ambientales ligadas a mantener o recuperar los sistemas relacionados con los ríos y/o acuíferos podrían considerarse actuaciones reutilización potable planificada indirecta.

Las tareas que se llevan a cabo desde la Administración hidráulica en Catalunya constatan el aumento progresivo del porcentaje de agua reutilizada que proviene de las EDAR y así queda recogido para el periodo de tiempo comprendido entre el 2005 y el 2008, Figura 3.

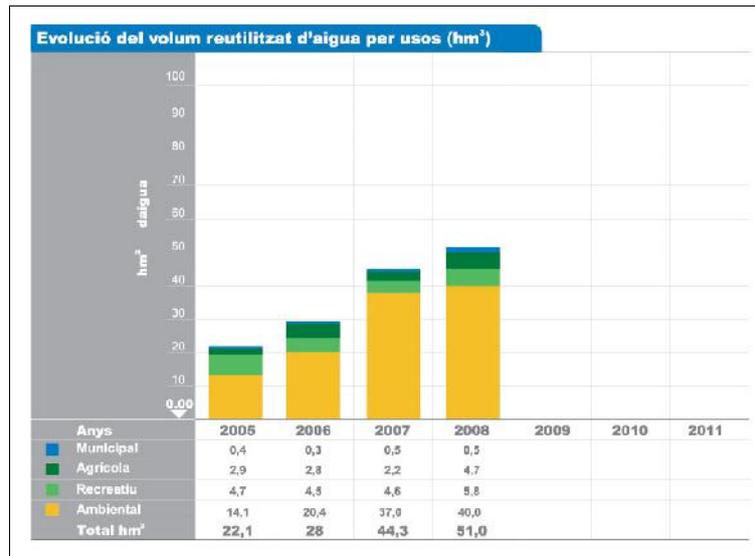


Figura 3. Evolución del volumen de agua reutilizado según los diferentes usos en Catalunya. Fuente: Agència Catalana de l'Aigua (2014).

En el año 2008 las EDAR de Cataluña depuraban según datos del PRAC unos 665 hm<sup>3</sup> de agua residual, de los cuales se reutilizaron 51 hm<sup>3</sup>, lo que corresponde a un 7,6%.

La manera en la que se distribuyen las prácticas de uso durante el año 2008, marca un alto porcentaje de uso ambiental con respecto al resto de usos, Tabla 1.

Tabla 1. Volumen anual utilizado según los diferentes usos, 2008. Fuente: Programa de Reutilización del Agua de Catalunya (2009).

Volumen anual utilizado	%
Agrícola	9
Ambiental	79
Municipal	1
Recreativo	11

En este contexto, uno de los objetivos del ACA es el de intentar aprovechar al máximo los casi 700 hm<sup>3</sup> de agua depurada que vierten anualmente las estaciones depuradoras de aguas residuales de Cataluña, reutilizando 204 hm<sup>3</sup> en el año 2015, lo que supondría un incremento del 200% con respecto al volumen utilizado en 2008 ver Tabla 2.

Tabla 2. Pronóstico para la reutilización prevista para el primer horizonte temporal del Programa de Reutilización del Agua de Catalunya (2009).

Reutilización Prevista 2015	hm <sup>3</sup> /año
Reutilización actual (2008)	51
Nuevas Instalaciones previstas en el programa	153
<b>Total</b>	<b>204</b>

El objetivo del PRAC es el de alcanzar el 31% del total de agua depurada para el primer horizonte temporal, 2015.

Sin embargo, y a pesar de la asignación de usos que hasta el momento de la redacción del plan se iba realizando, prioritariamente agricultura y ambiental, y debido al alto potencial de la reutilización, la Agència Catalana de l'Aigua, firma un convenio con el Consejo General de Industria de Catalunya con el objetivo de implantar sistemas de uso más eficiente de agua para las industrias.

El principal objetivo del convenio es la utilización del agua regenerada por parte del sector industrial llegando a asignar el 26% de los recursos nuevos disponibles, Tabla 3.

Tabla 3. Volumen anual previsión según los diferentes usos, 2015. Fuente: Programa de Reutilización del Agua de Catalunya (2009).

Volumen anual utilizado	%
Agrícola	30
Industrial	26
Municipal	12
Ambiental	25
Recreativo	7

Algunas de las instalaciones más importantes promovidas por el ACA y que por tanto se engloban dentro del contexto de Reutilización Planificada directa del agua, y que se enuncian en la página web de la Agència Catalana de l'Aigua son las que se muestran en Tabla 4.

Tabla 4. Instalaciones destacables promovidas por la Agència Catalana de l'Aigua. Fuente: Programa de Reutilización del Agua de Catalunya (2009).

EDAR	Tratamiento	Caudal de Diseño (m <sup>3</sup> /día)	Usos
La Bisbal d'Empordà	Bioreactor de membranas	3200	Recarga Daró
Blanes	Fisicoquímico, filtración y desinfección con ultravioletas y cloro	15000	Recarga Bajo Tordera
Empuriabrava	Sistema de humedales construidos	8750	Parque natural de los humedales de l'Empordà
Prat de Llobregat	Fisicoquímico, filtración y desinfección con ultravioletas y cloro	300000	Riego agrícola y otros usos
Sant Feliu Llobregat	Filtración y desinfección con cloro	72000	Riego agrícola
Torroella de Montgrí	Filtración y desinfección con ultravioletas y cloro	16500	Riego agrícola
Vila-Seca/Salou	Fisicoquímico, filtración y desinfección con ultravioletas y cloro	16500	Riego zonas verdes

A pesar de lo ambicioso del plan, el contexto socioeconómico de crisis que afecta directamente al país y en consecuencia a la administración, ha reducido enormemente la capacidad de actuación de los planes o programas en materia de reutilización, por lo

que probablemente los datos pronosticados del programa de reutilización del agua de Catalunya para 2015, sean inferiores de los previstos.

Si se compara la situación prevista con los datos de los que se dispone en el Instituto Nacional de Estadística (INE) que son para el periodo de tiempo entre los años 2008 - 2011. El volumen de agua reutilizada según los datos del INE disminuye casi a la mitad entre el año 2008 y 2011, Tabla 5, por lo que si estos datos son correctos difícilmente se llegue al porcentaje de reutilización del 31% del agua depurada para el 2015.

Tabla 5. Datos sobre volúmenes de agua residuales tratadas y volumen de agua reutilizada.  
Fuente: Instituto Nacional de Estadística INE 2014.

hm3/año	Volumen de aguas residuales tratadas	Volumen total de agua reutilizada	
2008	664,98	41,52	6%
2009	675,61	42,58	6%
2010	691,62	33,37	5%
2011	690,60	28,34	4%

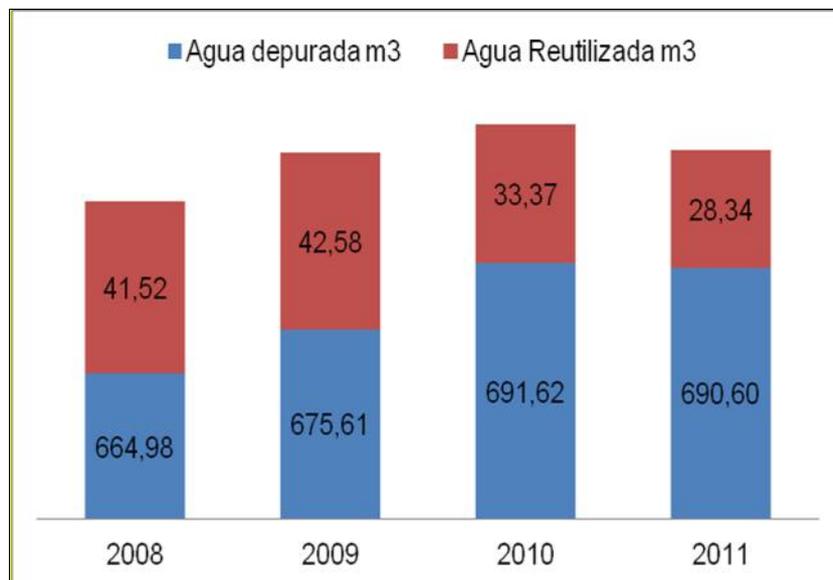


Figura 4. Evolución del volumen de agua depurada y reutilizada 2008-2011 en Catalunya.  
Fuente: INE (2014).

#### 3.6.4. Río Llobregat

Dentro del ámbito de la cuenca fluvial del río Llobregat, y dentro del contexto de las prácticas de reutilización planificadas, se ha de destacar la actuación en materia de reutilización de *La barrera hidráulica contra la intrusión marina y la recarga artificial del acuífero del Llobregat*, uno de los proyectos más vanguardistas y pioneros de Europa en cuanto a reutilización planificada de agua se refiere.

En el año 2010 la Agència Catalana de l'Aigua publicó en su página web un informe sobre las Actuaciones destacadas en materia de reutilización de la Generalitat de Catalunya. Departament de Medi Ambient i Habitatge (2010) donde explicaba la envergadura del proyecto.

A pesar de que la mayoría de las actuaciones que forman parte del proyecto y que se describen en el informe tienen como objeto ampliar los recursos de abastecimiento de agua potable, en ningún momento son clasificadas dentro del informe como actuaciones de reutilización potable del agua.

Sin embargo y según datos publicados por el Área Metropolitana de Barcelona en su página web, la procedencia y el volumen de agua que abastece el núcleo de Barcelona, y que procede del sistema Llobregat es de más del 48% del total, Tabla 6.

Tabla 6. Procedencia y volumen del agua de abastecimiento del núcleo de Barcelona. Fuente: AMB (2013).

Procedencia Agua Suministrada	Volumen m <sup>3</sup>	%
Lado Llobregat (superficial + desalinizada)	89.326.460	38,35%
Lado Ter (superficial + desalinizada)	108.434.300	46,55%
Subterránea AGBAR (Acuífero Llobregat)	25.120.850	10,79%
Subterránea resto de compañías	10.038.700	4,31%
<b>Total</b>	<b>232.920.290</b>	<b>100%</b>



Figura 5. Procedencia del agua de abastecimiento del núcleo de Barcelona. Fuente: AMB (2013).

El proyecto de la barrera hidráulica contra la intrusión marina y la recarga artificial del acuífero del Llobregat, se abastece de la estación regeneradora de agua del Prat de Llobregat. La primera fase del proyecto está en funcionamiento desde 2007 con resultados altamente positivos, la segunda fase se esperaba poner en marcha en el 2010.

La estación depuradora de aguas residuales del Llobregat, según los datos públicos de AMB, tiene un caudal de diseño de 4,86 m<sup>3</sup>/seg y es la depuradora de mayor capacidad de las que se sitúan en la cuenca del río Llobregat, la EDAR es una de las más grandes y modernas de Europa.

En el año 2006 se llevó a cabo una ampliación de la EDAR con el fin de dar soporte al proyecto de la barrera hidráulica y la recarga del acuífero del Delta del Llobregat con la construcción de una Estación Regeneradora de Agua.

La ampliación que consta de los procesos de ultrafiltración, osmosis y desinfección con una capacidad de 3,25 m<sup>3</sup>/seg (finalizada en 2012), es la encargada de suministrar el caudal regenerado a los proyectos de reutilización asociados a la parte baja del Río Llobregat.

Los acuíferos asociados al tramo bajo del Río Llobregat, situados al Oeste de la ciudad de Barcelona, son considerados uno de los recursos de agua subterránea más importantes en el ámbito urbano y metropolitano de la ciudad de Barcelona.

El agua que suministra la empresa municipal de Aigües de Barcelona (AGBAR) procedente del Río Llobregat supone casi el 50% del agua captada para dar servicio a la ciudad de Barcelona, con lo que se observa la importancia del Río y del mantenimiento de caudales para acometer este fin.

Entre el agua captada de los acuíferos del Llobregat (7%) y el agua potabilizada superficialmente (51,5%), la dependencia de AGBAR, sobre el sistema Llobregat es de más de la mitad del servicio que ofrece.

Las zonas donde la empresa pública AGBAR presta sus servicios se abastecen en casi un 60% de la cuenca del Río Llobregat como se muestra en la Figura 6.

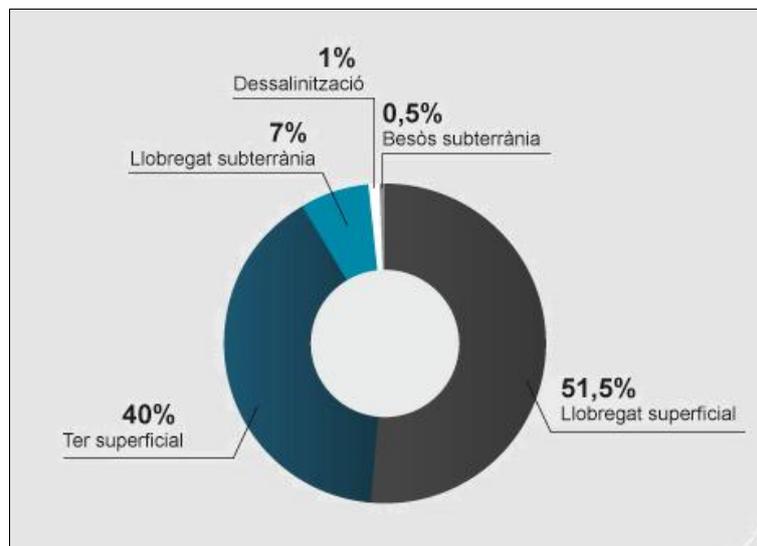


Figura 6. Procedencia del agua suministrada por Aigües de Barcelona. Fuente: AGBAR (2014).

Tanto los datos del AMB como los de la empresa suministradora del servicio de agua AGBAR muestran la alta importancia que tiene la cuenca del Río Llobregat en el abastecimiento urbano de la población del núcleo de la ciudad de Barcelona.

Las diferentes maneras y actuaciones que pretendan mantener, ampliar y proteger los recursos convencionales del sistema de Llobregat, han de ser promocionadas y publicitadas tanto por el AMB como por AGBAR, con el fin de conseguir una explotación sostenible que garantice el abastecimiento de una ciudad tan importante como es Barcelona.

La gestión integral de los recursos hídricos y en su caso la reutilización planificada juegan un papel importante en este tipo de sistemas, donde la presión sometida a las fuentes de abastecimiento convencionales es elevada.

El agua reutilizada proveniente de las diferentes Estaciones de Regeneración de Aguas (ERA) del núcleo urbano de Barcelona y que pertenecen al ámbito de la cuenca del río Llobregat, viene representada en la siguiente tabla, Tabla 7.

Tabla 7. Evolución de la reutilización en la parte baja del río Llobregat. Fuente: AMB (2012).

ERA	Reutilizada (m <sup>3</sup> /año)						Depurada (m <sup>3</sup> /año)	%
	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2012	2012
Gavà-Viladecans	3843000	3450000	3997539	3226954	2566751	3493420	14135845	24,7%
Sant Feliu de Llobregat	5420	69126	56687	51900	116814	184080	16826276	1,1%
El Prat de Llobregat	15093842	28635206	13653006	6011857	1516676	354892	92748401	0,4%
TOTAL	18942262	32154332	17707232	9290711	4200241	4032392	123710522	3,2%

En la ERA del Prat de Llobregat en el año 2012 se reutilizaban 354.892 m<sup>3</sup>/año (0,0112 m<sup>3</sup>/seg), a pesar de que la capacidad de regeneración es mucho mayor 3,25 m<sup>3</sup>/seg según los datos de la página web del área metropolitana de Barcelona AMB (2014).

En la Figura 7, se observa como la ERA del Prat de Llobregat ha sufrido un importante descenso en la producción de agua regenerada.

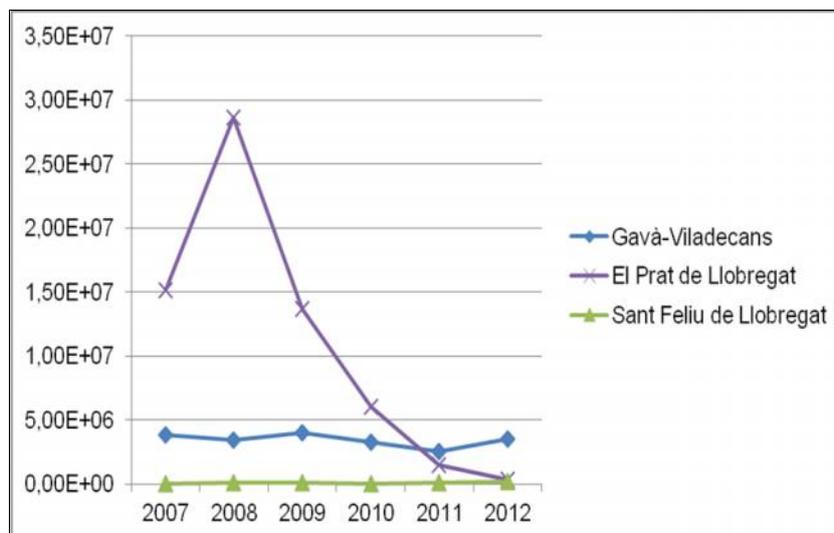


Figura 7. Estaciones de Regeneración de Agua asociadas a la cuenca del Río Llobregat.

A pesar de que la proyección de la barrera hidráulica contra la intrusión marina, tenía previsto inyectar 2500 m<sup>3</sup>/día en la primera fase y 15000 m<sup>3</sup>/día en una segunda fase, los datos de AMB recogen unos valores de inyección muy inferiores de 13626m<sup>3</sup>/año y 11088m<sup>3</sup>/año para el año 2012 y 2013 respectivamente, correspondientes al 0,01% del total del agua depurada por la EDAR del Llobregat, AMB (2014).

Los principales usos asociados al río Llobregat son los que se muestran en la Figura 8.

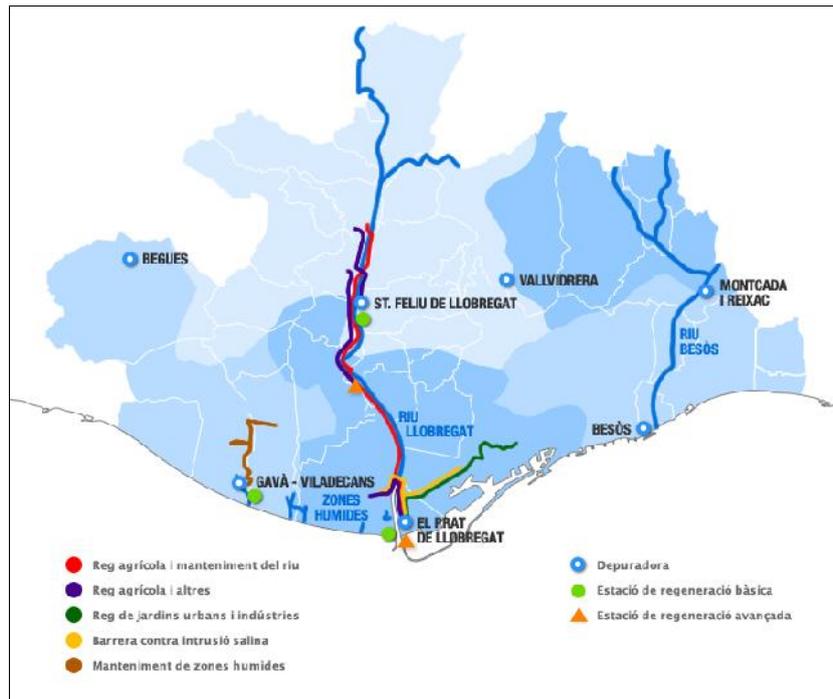


Figura 8. Usos del agua reutilizada en el río Llobregat. Fuente: AMB 2014.

### 3.7. EL CASO PRÁCTICO DE NAMIBIA

En 1968, en la ciudad de Windhoek, Namibia, es donde se lleva a cabo la primera gran reutilización de agua potable directa del mundo.

El país de Namibia se encuentra situado entre dos desiertos, el desierto de Kalahari y el desierto de Namib. Entre los dos desiertos ocupan casi el 80% del total de la superficie del país.

La capital del país es la ciudad de Windhoek que se encuentra a 1540 m sobre el nivel del mar y a 300 Km. de distancia del recurso natural de agua superficial más cercano, el Océano Atlántico, Figura 9.



Figura 9. Namibia. Emplazamiento y situación. Fuente: The Common Wealth Secretariat (2014).

Los recursos de agua subterránea accesibles se encuentran sobre-explotados en un radio de distancia de 500 km des del centro de la capital.

La capital de Namibia lleva años utilizando la regeneración del agua como recurso no convencional para garantizar la demanda de abastecimiento para agua potable de la ciudad. Según explican Lahnstenier, J., y Lempert, G (2007) “Water management in Windhoek, Namibia,” la clave del éxito de esta práctica radica en una serie de factores que combinados adecuadamente favorecen el desarrollo de las técnicas, y que se presentan en este capítulo a continuación:

1. Existencia de una legislación apropiada.
2. Dotar a la población de una adecuada educación e información del procedimiento.
3. Inversión continúa en medidas tecnológicas y económicas que favorezcan al desarrollo de las técnicas.

La experiencia sobre el tema ha demostrado que las exigencias de agua potable en la zona ha sido cubierta con éxito incluso en los periodos de mayor sequía, y los hechos son sin duda la mejor prueba de que la reutilización potable directa del agua funciona adecuadamente.

Existen en Windhoek dos estaciones regeneradoras de agua, NGWRP y OGWRP denominada la nueva y la antigua planta regeneradora de agua de Goreangab, respectivamente.

La demanda de la ciudad de Windhoek es de  $21 \cdot 10^6$  m<sup>3</sup>/año y la principal planta regeneradora de agua puede producir  $7,5 \cdot 10^6$  m<sup>3</sup>/año, lo que supone el un recurso no convencional que proporciona el 35% del total de la demanda aproximadamente.

A pesar de la producción de las plantas de regeneración de agua, la ciudad solo se abastece gracias a la reutilización directa en los episodios de sequía donde es estrictamente necesario.

De manera que en periodos de años húmedos en los que la población se abastece de las fuentes de recursos hídricos convencionales (pozos y embalses), el agua regenerada es utilizada para recargar acuíferos con el fin de garantizar estos recursos para posibles periodos secos y mantener los niveles de explotación, Figura 10.

La recarga de acuíferos es la segunda utilización de agua regenerada que se realiza dentro del sistema general de reutilización establecido por el gobierno, con el fin de disminuir la alta presión hidráulica a la que estas fuentes de suministro se ven sometidas cuando los niveles son mínimos.

Por otro lado la recarga artificial de acuíferos resulta más eficiente que la descarga superficial en embalses, debido principalmente a la evaporación tan elevada que existe en la zona, 3.200 – 3.400 mm/año de potencial de evaporación superficial.

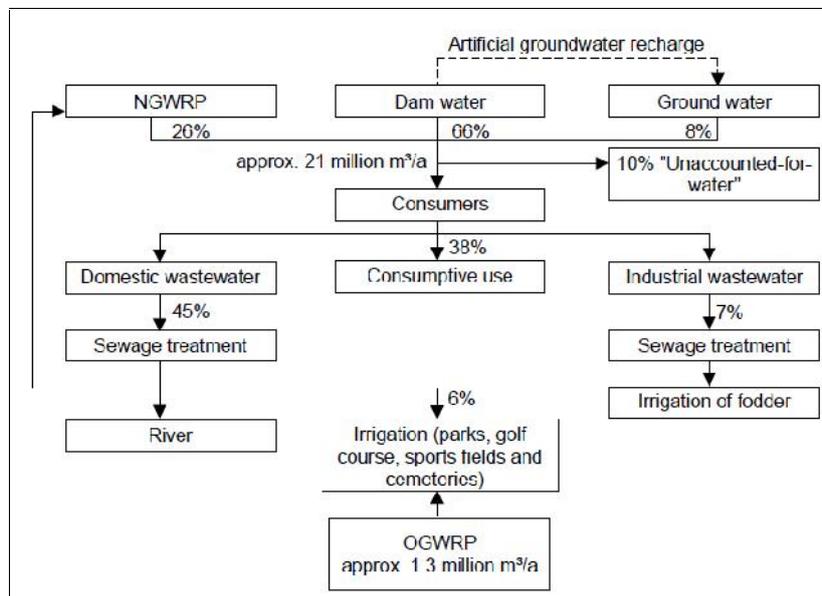


Figura 10. Recursos y suministro de agua en Windhoek. Fuente: Water management in Windhoek, Namibia (2007).

Algunos datos sobre la clave del éxito de la reutilización potable, directa e indirecta en la ciudad de Windhoek son, los programas de concienciación para el uso eficiente del agua que se llevan a cabo para alcanzar la aceptación de la reutilización directa de agua potable. La temática entorno a la reutilización del agua forma parte de la programación de las escuelas, y los medios de comunicación.

Los resultados obtenidos son de una gran aceptación para este uso del agua cuando los temas son tratados con normalidad en los currículos de los docentes. La negativa percepción de la reutilización directa del agua se ha visto modificada con una campaña de educación ciudadana persistente y continua.

Con respecto a la fiabilidad sanitaria no se ha detectado en Namibia ningún caso de enfermedad debida al consumo del agua potable, procedente de una ERA.

Namibia y más concretamente la ciudad de Windhoek, debe ser considerada por su dilatada experiencia y su éxito de resultado, un claro ejemplo de gestión integrada del agua y eficiente explotación.

### 3.8. FIABILIDAD DE LOS PROCESOS DE REGENERACIÓN DE AGUA.

La fiabilidad o garantía de los procesos de regeneración de agua se define como: la capacidad que tienen los procesos de asegurar un cierto nivel de calidad de forma sistemática a lo largo de un periodo de tiempo, Mujeriego, R. (2005).

El hecho de que la reutilización del agua conlleve en muchos casos la posibilidad del contacto directo con las personas, animales o plantas, o de que en un momento determinado sea la única fuente de suministro (como en el ejemplo de Windhoek), implica que la calidad final del efluente regenerado sea elevada y sobre todo constante en el tiempo y el espacio.

La exigencia de un proceso seguro y fiable es un requisito de los proyectos de regeneración de agua, y la normativa y recomendaciones son las herramientas que la administración tiene para llevar a cabo el control del volumen de agua no convencional que se genera.

La experiencia anterior en el análisis y control de la calidad y del rendimiento de los parámetros de los efluentes depurados, así como de los volúmenes de agua generados por la industria del agua, ha servido de precedente para establecer criterios de medida de la variabilidad de la calidad.

El método que comúnmente se utiliza para cuantificar el rendimiento y la fiabilidad de los procesos de tratamiento de agua, es el que consiste en la obtención de una muestra experimental del parámetro o parámetros que se desee evaluar y estimar los parámetros poblacionales estadísticos, media y desviación típica. Aunque en la gran mayoría de los casos la experiencia dice que la variable que se estudia se ajusta a una distribución normal o a algunas de sus transformadas, y el cálculo es relativamente sencillo, cabe comprobar que ciertamente ocurre así. El procedimiento para comprobar el ajuste de un parámetro a una distribución normal es el de realizar un contraste de hipótesis como por ejemplo el contraste de hipótesis de Kolmogorov-Smirnov.

Rafael Mujeriego (2005) aconseja llevar a cabo el siguiente procedimiento estadístico:

1. Representación mediante diagrama de barras de los valores numéricos de la media y la desviación muestral.
2. Descripción cronológica de la muestra.
3. Valoración gráfica de la media y la desviación típica de la muestra de valores de la variable mediante su representación en un papel de probabilidad normal u otro caso si es necesario.
4. Verificar el grado de ajuste de la variable a la distribución, mediante la interpolación de una recta a los puntos experimentales.
5. Determinar los valores de los percentiles necesarios, y en particular de la media y la desviación típica de la población.

La importancia de establecer métodos de comprobación de la eficacia y la fiabilidad de los procesos de regeneración de agua es alta, ya que conocer estadísticamente el comportamiento de uno o varios parámetros a través de sus estadísticos más comunes permite a la tecnología monitorizar los procesos en función de las necesidades de cada parámetro.

Promocionar la regeneración a través del conocimiento experimental y el ofrecimiento de conclusiones generalizables que puedan documentarse, supone ofrecer al consumidor una prueba palpable de la fiabilidad del recurso no convencional que se está generando.

En este sentido tanto el ACA como la CCB llevan años experimentando sobre la eficacia y la fiabilidad de los procesos a partir de plantas piloto.

El ACA entre otras ha patrocinado el experimento Regeneración de Aguas para la industria: Proyecto de Demostración del Camp de Tarragona (2008).

El proyecto consiste en documentar la demostración de la eficacia y la fiabilidad de un proceso de regeneración avanzada capaz de producir agua que satisfaga las especificaciones de los sistemas de refrigeración de la industria petroquímica.

A partir de los cálculos estadísticos las pruebas piloto consiguen establecer conclusiones concretas sobre la reutilización planificada del agua para determinados usos.

## CAPÍTULO 4

### 4. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 4.1. INTRODUCCIÓN

El objetivo principal de esta tesina es el de “Cuantificar el grado de reutilización potable indirecta o no planificada que existe en las cuencas fluviales internas de Catalunya.”

Para ello se estudia la composición del caudal que circula por el cauce de un río desde la cabecera hasta la desembocadura, de uno de los cursos fluviales más importantes de los que forman las cuencas internas de la demarcación hidrográfica de Catalunya, el río Llobregat (156,5 km).

Para poder obtener la distribución de la composición del caudal del río a lo largo del cauce y designar así la proporción que pertenece a caudal de escorrentía y la proporción que pertenece a efluentes de vertidos durante todo el recorrido respectivamente, es necesario calcular el factor de dilución de los diferentes vertidos aguas arriba de uno o varios puntos de control a lo largo del cauce del río Llobregat.

Para ello en primer lugar se realiza una subdivisión del cauce principal del río, en tantos tramos como puntos de aforo se conocen, (Apartado 4.3.) y se calcula el factor de dilución para cada uno de los tramos aguas arriba de los puntos de aforo.

$$\text{Factor de dilución.} = \frac{\text{Caudales vertidos}}{\text{Caudal circulante aguas abajo del vertido}}$$

Una vez se ha obtenido el factor de dilución aguas arriba de cada uno de los puntos de aforo que se distribuyen a lo largo del cauce, lo que se desea es calcular el *número de veces que una unidad de volumen de agua (1 litro, 1 metro cúbico, etc) que fluye por el curso fluvial ha sido utilizada aguas arriba de todas y cada una de las secciones o puntos de aforo del río de manera acumulativa*. Es decir llegados al último punto de control, qué porción de la unidad de volumen de agua que se estudia ha sido utilizada y/o reutilizada en cada uno de los tramos anteriores.

El estudio de un sistema donde está presente la incertidumbre, como el caso objeto de este estudio, ha dado lugar a los modelos estocásticos que tratan de explicar el funcionamiento de estos sistemas usando la teoría de la probabilidad.

A una sucesión finita de experimentos, donde cada uno de los experimentos del proceso general posee un número finito de resultados con probabilidades dadas (factor de dilución y el contrario), se le llama proceso estocástico finito.

El experimento que se quiere valorar, *Número de veces que una unidad de volumen de agua que fluye por el curso fluvial ha sido utilizada y reutilizada aguas arriba de uno o varios puntos de control*, sigue el patrón de un modelo estadístico estocástico finito de una variable aleatoria (VA), X.

La variable aleatoria es del tipo discreta, ya que los posibles resultados dependen del número total de tramos en los que se divide el río como máximo y es la teoría de la

probabilidad la que permitirá conocer en términos de probabilidad el comportamiento de éste fenómeno aleatorio.

Todas y cada una de las posibilidades que puede tomar la VA a medida que se producen los experimentos en cada uno de los tramos de manera consecutiva se le llama suceso.

El conjunto de sucesos posibles comunes, es el espacio muestral de la variable aleatoria y la probabilidad de que cada uno de los sucesos ocurra es la frecuencia absoluta ( $F(x)$ ).

Teniendo en cuenta que lo que se pretende es valorar qué proporción de la unidad volumétrica (1l,  $1m^3$ ) que a medida que discurre por las etapas en las que se divide el río es utilizada y reutilizada en el proceso acumulativo, una manera conveniente de describir tal proceso y calcular las frecuencias de cada uno de los sucesos,  $P(X=x)$  o  $F(x)$ , es la de utilizar un diagrama de árbol, Figura 11.

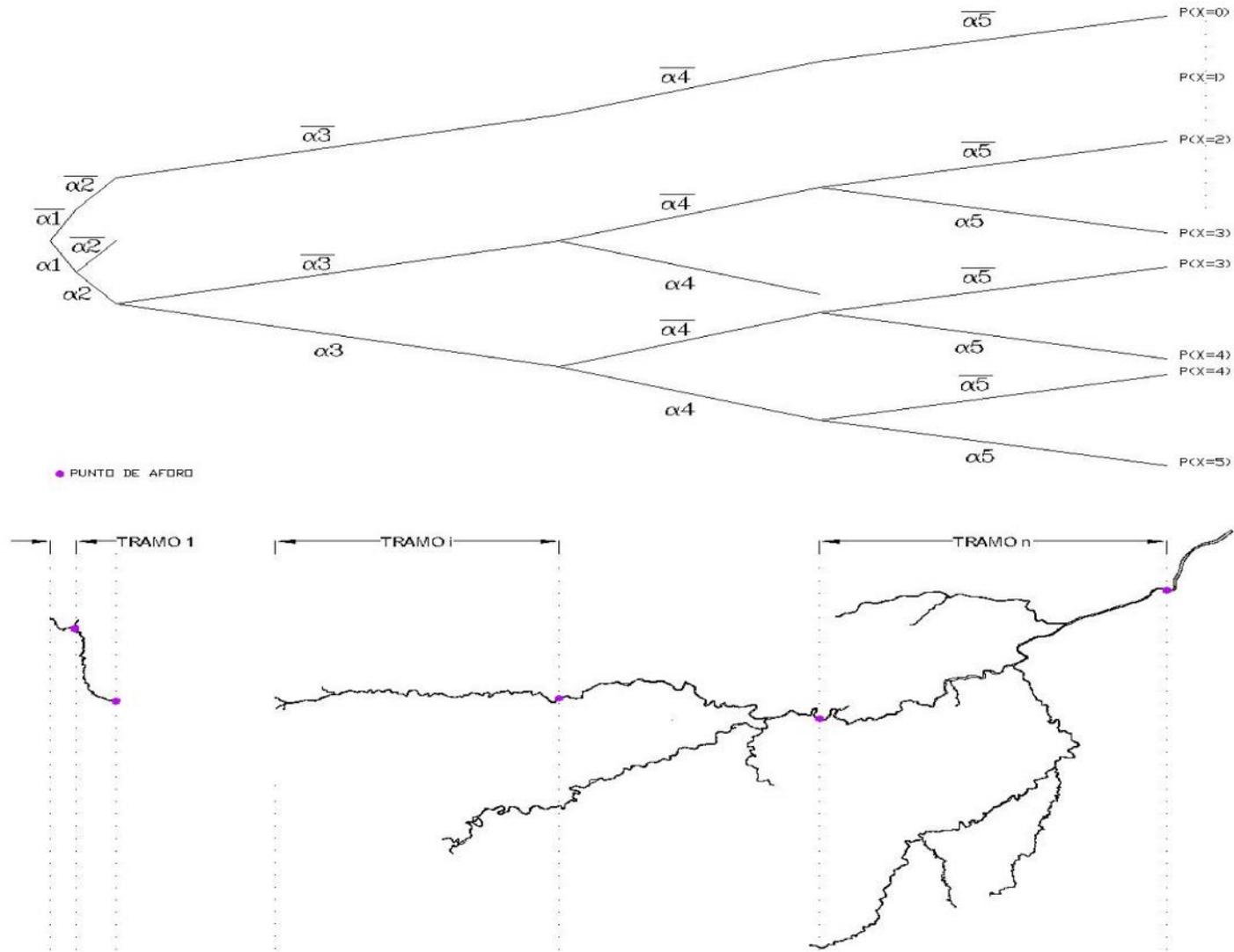


Figura 11. Diagrama de árbol, donde el resultado de cada ramificación es la frecuencia absoluta de cada suceso y se repite secuencialmente tramo a tramo. Fuente: Elaboración propia.

Para el caso concreto objeto de este estudio, la sucesión finita de experimentos coincide con el número de tramos en los que se subdivide el río. Los posibles resultados aumentan de manera acumulativa a medida que se avanza por las etapas de la subdivisión del cauce principal del río y las probabilidades dadas para cada uno de los experimentos coinciden con el porcentaje del factor de dilución en el propio tramo ( $p_i$ ) y el porcentaje de lo contrario ( $1 - p_i$ ) respectivamente,

Para calcular la probabilidad de que un resultado representado por una trayectoria determinada del árbol suceda, se utiliza el teorema de la multiplicación que se desprende de la teoría de la probabilidad condicionada.

El teorema de la multiplicación dice que si se tienen varios sucesos independientes entre sí, la probabilidad de que ocurran varios de ellos a la vez es igual a la multiplicación de cada uno de ellos.

De esta manera se obtienen las frecuencias absolutas de cada uno de los sucesos a lo largo del proceso acumulativo y es posible dibujar la función de distribución de la variable, para cada uno de los tramos.

Finalmente los datos iniciales necesarios para llevar a cabo los cálculos asociados a la obtención del factor de dilución y posteriormente el grado de reutilización a lo largo del cauce, son los datos de caudales que intervienen en el curso hidrológico del río Llobregat.

Los caudales que forman parte del proceso y que por tanto son objeto de evaluación se muestran a continuación:

1. Caudales aforados a lo largo del cauce del río Llobregat, Apartado 4.3.
2. Caudales efluentes de las diferentes estaciones depuradoras de aguas residuales que se distribuyen a lo largo del cauce principal del río Llobregat, así como de sus afluentes, Apartado 4.4.
3. Caudales de captación en el río Llobregat para abastecimiento y otros usos, Apartado 4.5.

Paralelamente al estudio principal y con el fin de establecer una causa directa de la contaminación que existe en un volumen de agua y que es consecuencia de la actividad humana, se realiza una estimación de la cantidad de iones cloruro (mg) que un habitante equivalente aporta al día a partir de una dotación dada (l/hab·día), por el mero hecho de ser utilizado.

Para ello se necesita de la calidad química del agua en diferentes tramos del río aguas arriba y aguas abajo de una determinada población.

4. Calidad química de las masas de agua que forman parte del conjunto del río Llobregat (Programa de Seguimiento y Control de las masas de agua de Catalunya PSiC), Apartado 4.6.

La administración competente en materia de hidráulica que gestiona las cuencas internas de Catalunya el ACA es el ente público encargado de la gestión y la planificación del agua del Gobierno de la Generalitat de Catalunya.

Los datos correspondientes a los volúmenes de agua efluentes de vertidos de estaciones depuradoras de aguas residuales, y los correspondientes a captaciones, han sido facilitados por el ACA vía petición formal.

Por otro lado los datos de caudales aforados y los correspondientes al estado químico de las masas del agua, son los obtenidos a través de las aplicaciones interactivas en forma de visores de consulta, ver Figura 12, de datos que el ACA pone a disposición pública a través de un conjunto de aplicaciones para extraer datos relacionados con el agua y el medio ambiente.



Figura 12. Página principal ACA y sección de la consulta de datos. Fuente: Agència Catalana de l'Aigua 2014.

Un visor de consulta es una herramienta informática que permite acceder, editar y descargar información que se encuentra geográficamente referenciada. La herramienta informática combina un soporte gráfico y una base de datos.

Con el fin de establecer conclusiones que puedan resultar significativas e interesantes se evalúa la composición del caudal, a partir de los datos aforados disponibles, para diferentes periodos de tiempo:

1. El bienio de sequía 2007-2008.
2. Un periodo de tiempo normal 2012.

Se ha de tener en cuenta que tanto los datos facilitados por la administración como los datos que proceden de visores, tienen sus propias limitaciones.

En el caso concreto de los datos de calidad de las masas de agua son datos promedios, que a pesar de que se obtienen de la información recogida en uno o varios puntos de muestreo situados en cada una de las masas de agua, y a pesar de que los puntos de muestreo sean representativos, no significa que en la totalidad de la masa de agua se den exactamente las mismas condiciones.

Para el cálculo del grado de reutilización potable indirecta del agua, sólo se tiene en cuenta el valor de los vertidos efluentes procedentes de aguas residuales urbanas, ya que son los únicos datos de los que se dispone. Sin embargo el porcentaje real de agua reutilizada, si se tiene en cuenta todo tipo de vertidos, debe ser significativamente mayor.

También se hace la hipótesis de que los caudales de captación coinciden con los caudales de vertido, cuando en realidad el caudal de los efluentes de vertido suele ser algo menor que el caudal de las captaciones.

Los valores del factor de dilución , se calculan a partir de los datos de caudales aforados de series completas que corresponden con los periodos de tiempo 2007-2010/13 dependiendo de la estación, sin embargo estos datos serán los utilizados para establecer conclusiones con los caudales de vertido para el periodo anual de 2012.

El estudio se realiza únicamente para la cuenca fluvial del río Llobregat, pero la metodología utilizada puede aplicarse a otras cuencas con las mismas o diferentes características con el fin de establecer conclusiones más generales y obtener un espectro más amplio de la reutilización potable indirecta.

Los cálculos se pueden realizar para diferentes periodos de tiempo de los que se dispone de datos sobre los caudales aforados 2007, 2008 y 2012, con el fin de establecer conclusiones entre periodos de tiempo húmedos y periodos de sequía como es el caso del bienio 2007-2008.

A través del estudio y valoración de la composición del caudal a lo largo del cauce se pretende obtener una evidencia de que la reutilización potable indirecta es un hecho, y una práctica habitual llevada a cabo por las administraciones en materia de hidráulica a sabiendas pero sin ningún tipo de protocolo establecido, que el porcentaje del agua que se reutiliza es importante y que la práctica de la dilución previa al uso no implica una mejora de la calidad del agua, sino en muchos casos todo lo contrario.

#### 4.1.1. Factor de dilución

El valor del factor de dilución corresponde a la proporción de agua que fluye por el río y que ha sido utilizada por la población aguas arriba de un punto en concreto, matemáticamente es el cociente entre el caudal vertido aguas arriba de un punto de aforo y el caudal que circula por el río en ese mismo punto, Ecuación 1.

Ecuación 1

$$\text{Factor de dilución.} = \frac{Q_{\text{Vertido}}}{Q_{\text{Aforado}}}$$

Donde,

$Q_{\text{Vertido}}$  = Caudal vertido aguas arriba de un punto de aforo, m<sup>3</sup>/d.

$Q_{\text{Aforado}}$  = Caudal aforado en las estaciones de medida del caudal, m<sup>3</sup>/d.

Aunque para calcular el factor de dilución de vertido es necesario disponer de todos y cada uno de los volúmenes que se vierten a lo largo del cauce del río Llobregat, únicamente se dispone para esta tesina de los caudales efluentes de estaciones depuradoras de aguas residuales y por lo tanto el cálculo se va a realizar únicamente teniendo en cuenta estos volúmenes, como así se muestra en la Figura 13.

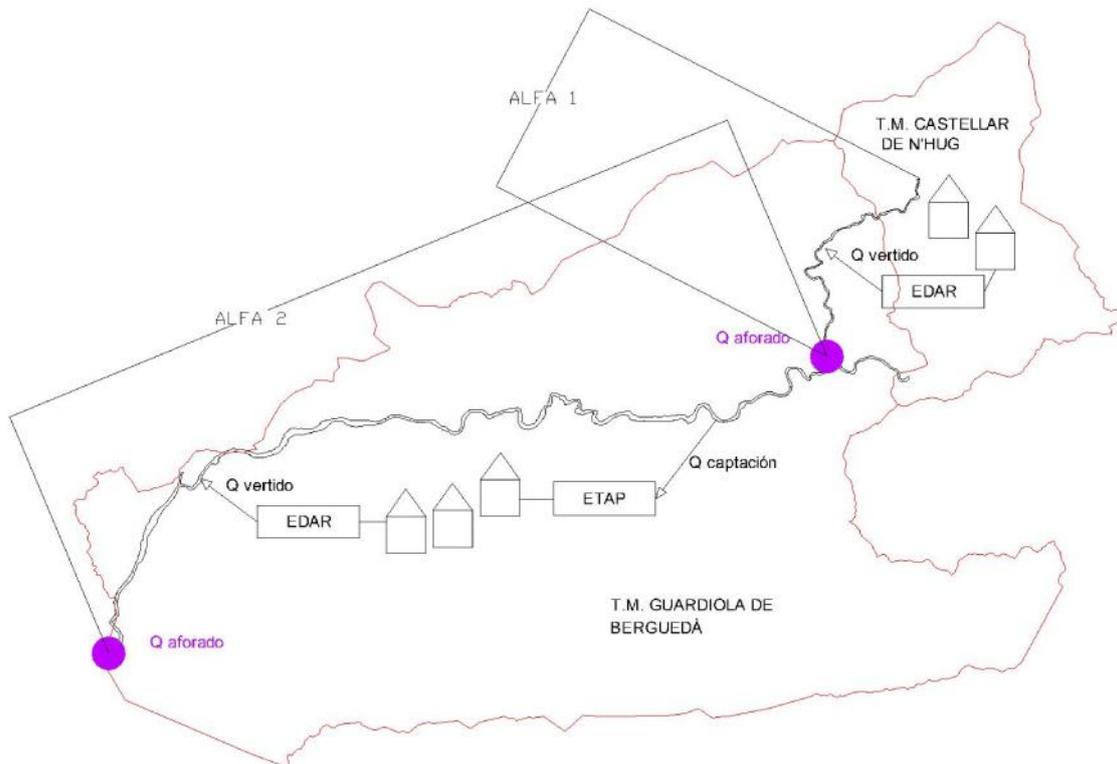


Figura 13. Esquema gráfico del factor de dilución, alfa. Fuente: Elaboración propia.

Sin embargo un estudio interesante de cara a un futuro sería añadir todo tipo de vertidos con el fin de obtener un mayor espectro de los usos previos del agua que intervienen en el proceso de la reutilización.

Al valor del porcentaje de agua que transporta un río y que procede de un vertido de aguas residuales urbanas, se le denomina en el estudio factor de dilución, Ecuación 2.

Ecuación 2

$$r = \text{Factor de dilución} = \frac{Q_{\text{VertidoEDAR}}}{Q_{\text{Aforado}}}$$

Donde,

$Q_{\text{VertidoEDAR}}$  = Caudal vertido aguas arriba de un punto de aforo procedente de los efluentes de estaciones depuradoras de aguas residuales, m<sup>3</sup>/d.

$Q_{\text{Aforado}}$  = Caudal aforado en las estaciones de medida del caudal, m<sup>3</sup>/d.

Es necesario calcular el valor del factor de dilución en varios tramos del recorrido del río Llobregat (156,5 km), con el fin de obtener una distribución del grado de

reutilización a medida que se avanza en el curso fluvial y a medida que el volumen procedente de los vertidos aumenta.

El agua que recorre el río desde la cabecera hasta la desembocadura es la misma, de manera que los acontecimientos que se suceden sobre cada unidad de volumen se superponen de forma progresiva.

Para ello se divide el cauce del río en tantas etapas como puntos de aforo se dispone, desde la cabecera hasta la desembocadura, Figura 14 y se calcula el factor de dilución, para cada uno de los tramos.

En la Tabla 8 se enumeran los puntos de aforo de los que se dispone de datos y que sirven de puntos de control para calcular el factor de dilución aguas arriba del río.

Tabla 8. Estaciones de aforo existentes a lo largo del cauce del río Llobregat y el punto kilométrico aproximado en el que se encuentran desde la cabecera.

Tramo nº	Estación de Aforo	Longitud aproximada del tramo km
1	Castellar de n'Hug	3
2	Guardiola de Berguedà	11
3	Balsareny	40
4	Castellbell y el Vilar	30
5	Sant Joan Despí	40

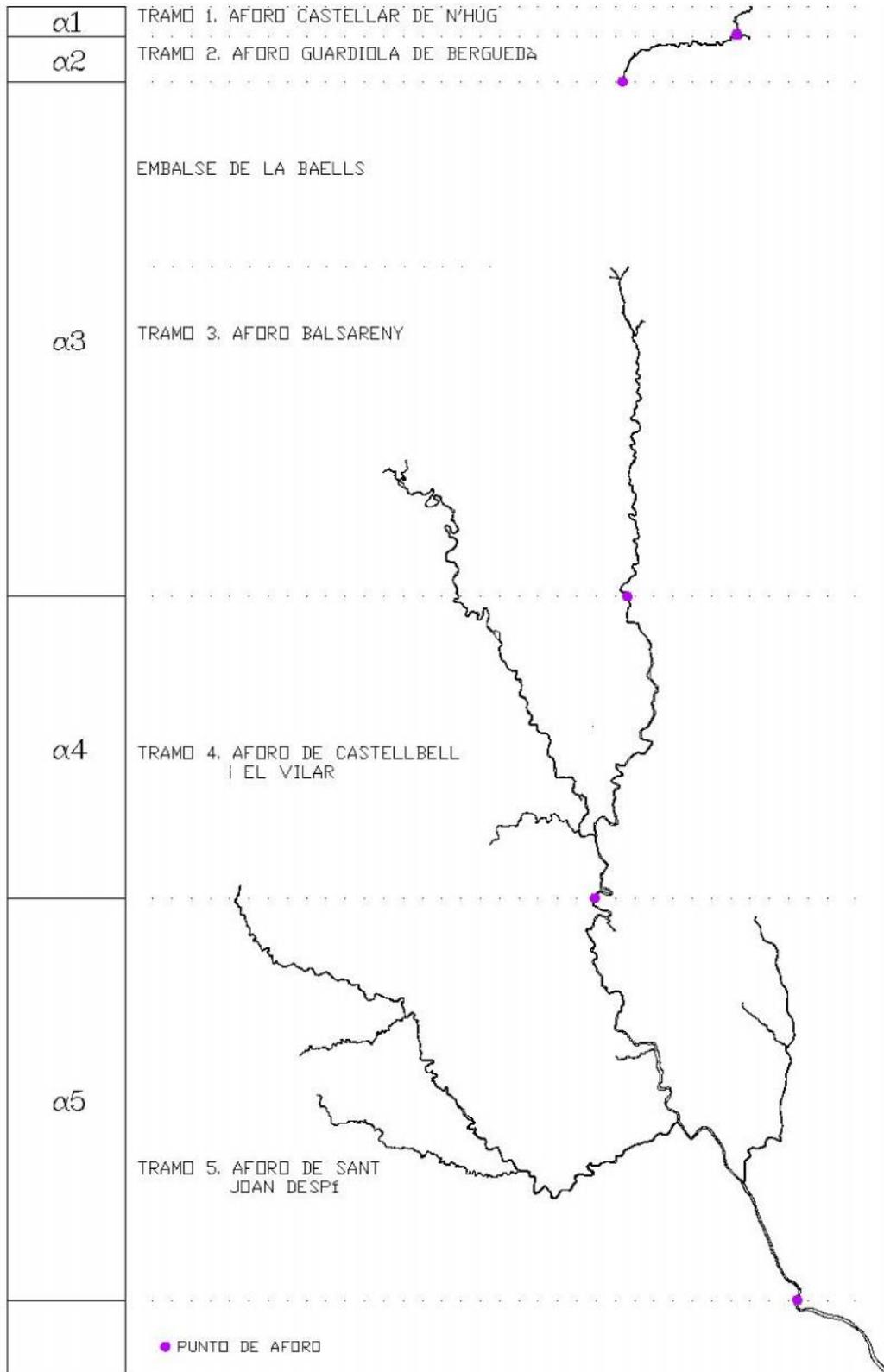


Figura 14. Etapas en las que se divide el cauce del río Llobregat (156,5 km). Fuente: Elaboración propia.

#### 4.1.2. Modelo de mezcla en el cauce del río

El modelo que define el proceso de la mezcla de la VA,  $X$ =Número de veces que una unidad de volumen es reutilizada aguas arriba de un punto a medida que fluye desde la cabecera hasta la desembocadura del río se puede explicar a través de los modelos estadísticos estocásticos finitos.

Los modelos estocásticos como se ha comentado en la introducción son una sucesión finita de experimentos ( $n$ ) en los cuales cada experimento ( $n_i$ ) tiene un número finito de resultados o sucesos ( $x_i$ ) con probabilidades dadas,  $p_i$ ,  $(1 - p_i)$ . Cada suceso tiene una probabilidad de ocurrencia  $P(X = x_i)$  o  $F(x_i)$  asociada que depende del número de etapas recorridas y del factor de dilución  $d_i$ .

En este caso para cada una de las etapas se tiene un factor de dilución  $d_i$  que corresponde a la fracción de la unidad de volumen que ha sido utilizada y reutilizada aguas arriba de cada punto de control.

La unidad de volumen que discurre por el río, según en qué tramo del río se encuentre estará compuesta por una porción de agua que haya sido utilizada en alguno de los tramos anteriores, en todos los tramos anteriores o en ninguna de las etapas, Figura 14.

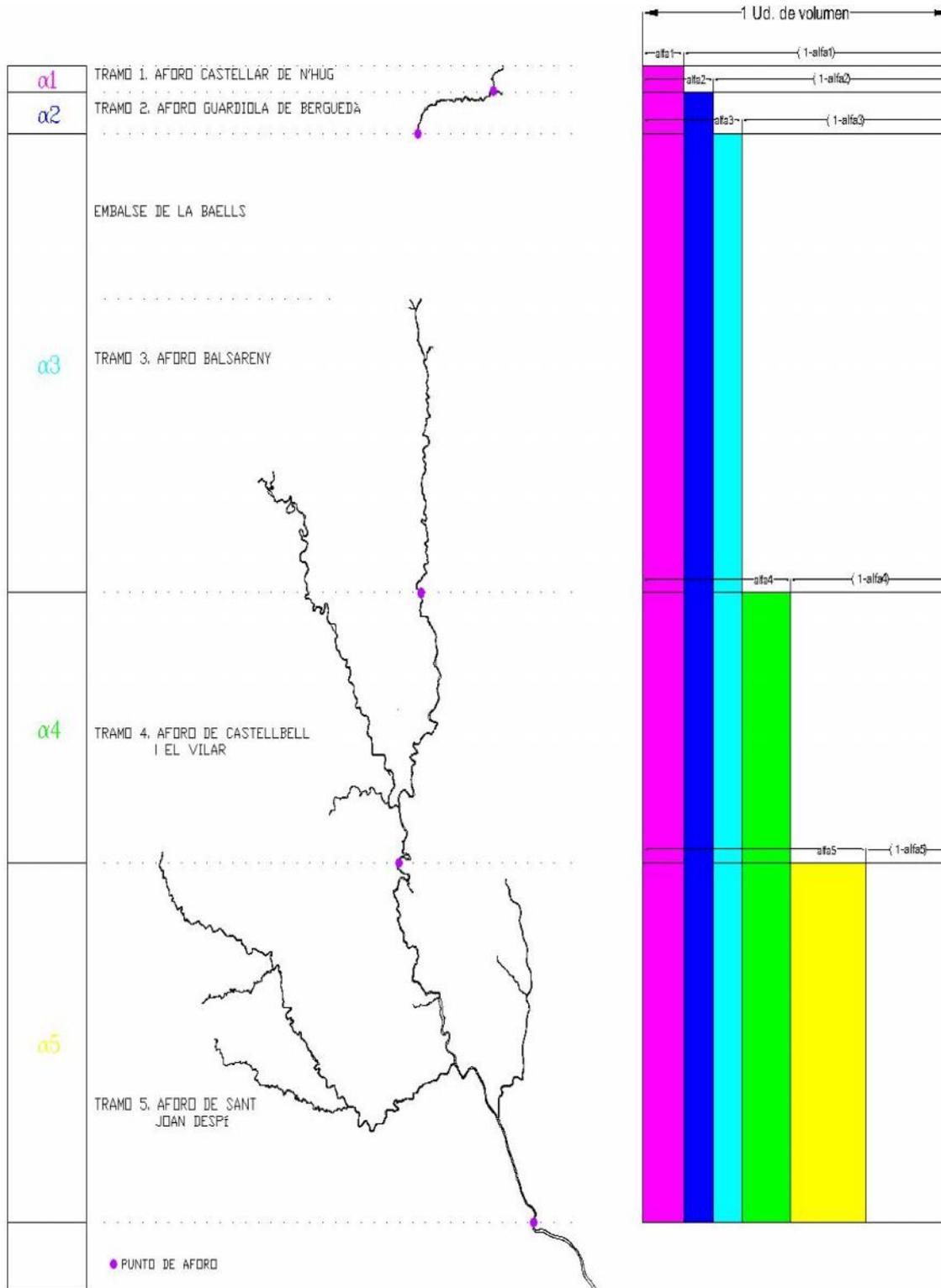


Figura 15. Diagrama de flujo grado de reutilización acumulativa a lo largo del cauce del río Llobregat. Fuente: Elaboración propia.

La estrategia utilizada para caracterizar el proceso, consiste en hacer la simplificación de que cada tramo superado supone una única utilización o reutilización del agua y así acumulativamente.

De esta manera si se analiza la VA en el punto de control del segundo tramo por ejemplo, la unidad de volumen de agua puede haber sido utilizada 1 vez  $((1 - p_1) \cdot p_2 + p_1 \cdot (1 - p_2))$ , dos veces  $(p_1 \cdot p_2)$  o ninguna vez  $((1 - p_1) \cdot (1 - p_2))$ , y los sucesos posibles son; haber utilizado el agua 2, 1 y 0 veces aguas arriba del punto de control. El número total de sucesos coincide con la posición del tramo en el que se está valorando la unidad de volumen,  $n_2 + 1 = 3$  veces respectivamente.

Para concluir, los parámetros que definen el proceso estocástico finito necesarios para valoración de la VA objeto de estudio, se muestran en la Tabla 9.

Tabla 9. Parámetros Experimento Aleatorio. Diagrama de árbol.

Descripción	Parámetro
VA, Número de veces que una unidad de volumen ha sido utilizada aguas arriba de una sección de aforo.	X
Etapas en las que se realiza el experimento.	5
Posibilidades del experimento, n etapas con $n_i+1$ sucesos posibles en cada etapa.	$\sum_{n=1}^{n=5} 5 + 1 = 20$
Espacio muestral	$5 + 1 = 6$

Las hipótesis llevadas a cabo para la valoración del “Grado de reutilización aguas arriba de un punto de control” son las siguientes:

1. Se conoce el factor de dilución de cada uno de los tramos.
2. El factor de dilución se supone creciente.

#### 4.1.3. Indicador o traza de la contaminación debido al uso urbano

Para calcular el grado de contaminación que un volumen de agua posee únicamente debido al uso urbano que se realiza de éstas aguas arriba de un punto, se pretende a través de la valoración de la cantidad de iones cloruro que contiene un agua antes y después de ser utilizada, establecer un indicador o traza de la contaminación directa por uso urbano.

Para calcular la cantidad de cloruros aguas arriba de un determinado punto que corresponde a una aportación de agua concreta, en este caso de un vertido de aguas residuales urbanas, se ha de realizar el balance de masas en un punto de control situado aguas abajo de la aportación.

Si lo que se desea es valorar qué cantidad de cloruros  $\Delta C_i$  que se le añada a un volumen de agua que discurre por el cauce entre un punto A y un punto B, que ha sido previamente captado para dar abastecimiento a una población ETAP  $Q_C$  y más tarde vertido EDAR  $Q_V$ , Figura 16.

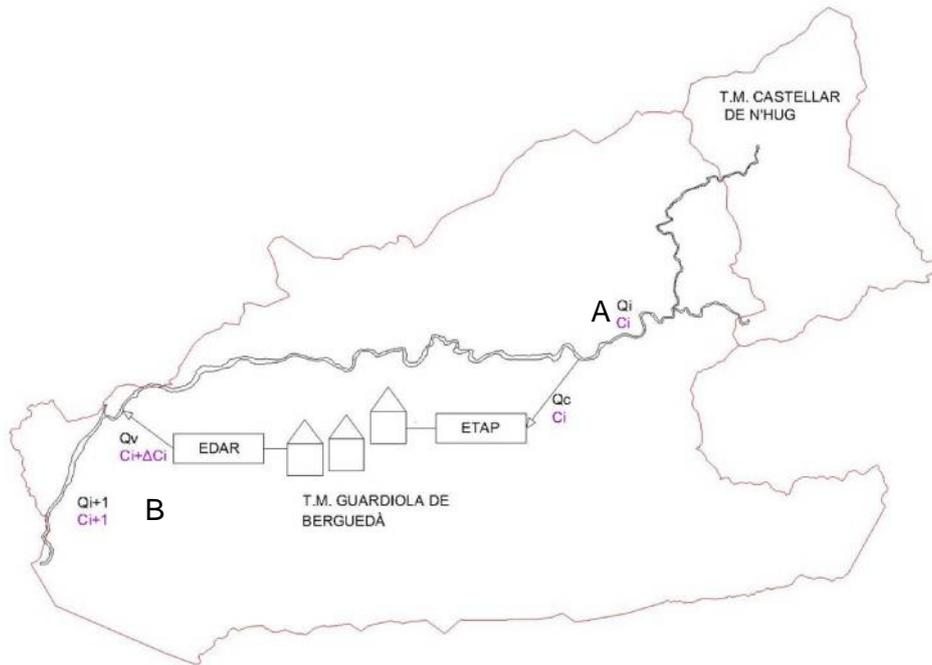


Figura 16. Esquema de cálculo. Indicador de la contaminación, aportación unitaria de sales.  
Fuente: Elaboración propia.

Ha de realizarse el balance de masa entre el punto A y B:

Ecuación 3

$$Q_{i+1} \cdot C_{i+1} - Q_i \cdot C_i = (Q_i - Q_c) \cdot C_i + Q_v \cdot (C_i + \Delta C_i) - Q_i \cdot C_i$$

Ecuación 4

$$Q_{i+1} \cdot C_{i+1} - Q_i \cdot C_i = Q_i \cdot C_i - Q_c \cdot C_i + Q_v \cdot C_i + Q_v \cdot \Delta C_i - Q_i \cdot C_i$$

Ecuación 5

$$Q_c \cong Q_v$$

Y simplificando,

Ecuación 6

$$Q_{i+1} \cdot C_{i+1} - Q_i \cdot C_i = Q_v \cdot \Delta C_i \longrightarrow \Delta C_i = \frac{Q_{i+1} \cdot C_{i+1} - Q_i \cdot C_i}{Q_v}$$

Donde,

$Q_{i+1}$  = Caudal aguas abajo de la población, m<sup>3</sup>/d.

$C_{i+1}$  = Concentración cloruro aguas abajo de la población, mg/l.

$Q_i$  = Caudal aguas arriba de la población, m<sup>3</sup>/d.

$C_i$  = Concentración cloruro aguas arriba de la población, mg/l.

Si  $Q_U$  es el caudal unitario de la población expresado en  $\frac{l}{hab \cdot día}$ ,

Ecuación 7

$$\text{Indicador de la contaminación } I = \Delta C_i \cdot Q_U$$

Donde,

$I$  = Indicador de la contaminación iónica por cloruros debido al uso humano, mg/hab·día.

El incremento de cloruros debido al uso de la población es un parámetro a partir del cual es posible calcular el factor de dilución, explicado anteriormente, para el caso en el que no se disponga de los datos de caudales y si que se conozcan los valores de la concentración de sales en el río, Ecuación 8.

Ecuación 8

$$r = \frac{C_{i+1} - C_i}{\Delta C_i}$$

Sin embargo éste supuesto no ocurre en el estudio de la presenta tesina, aunque resulta interesante a tener en cuenta para posibles estudios futuros.

## 4.2. RÍO LLOBREGAT

El distrito de cuenca hidrográfica o fluvial de Cataluña (DCFC) está constituido por las cuencas hidrográficas internas que son las correspondientes a las cuencas y subcuencas que drenan las aguas superficiales hacia los ríos Muga, Fluvià, Ter, Daró, Tordera, Besòs, Llobregat, Foix, Gaià, Francolí y Riudecanyes, así como las de todas las rieras costeras entre la frontera con Francia y la cuenca del río Sénia, incluidas las cuencas del Barranco de Sant Pere, al norte de la cuenca del río Ebre y las cuencas de las rieras del Montsià situadas entre las partes bajas de las cuencas del Ebre y de la Sénia.

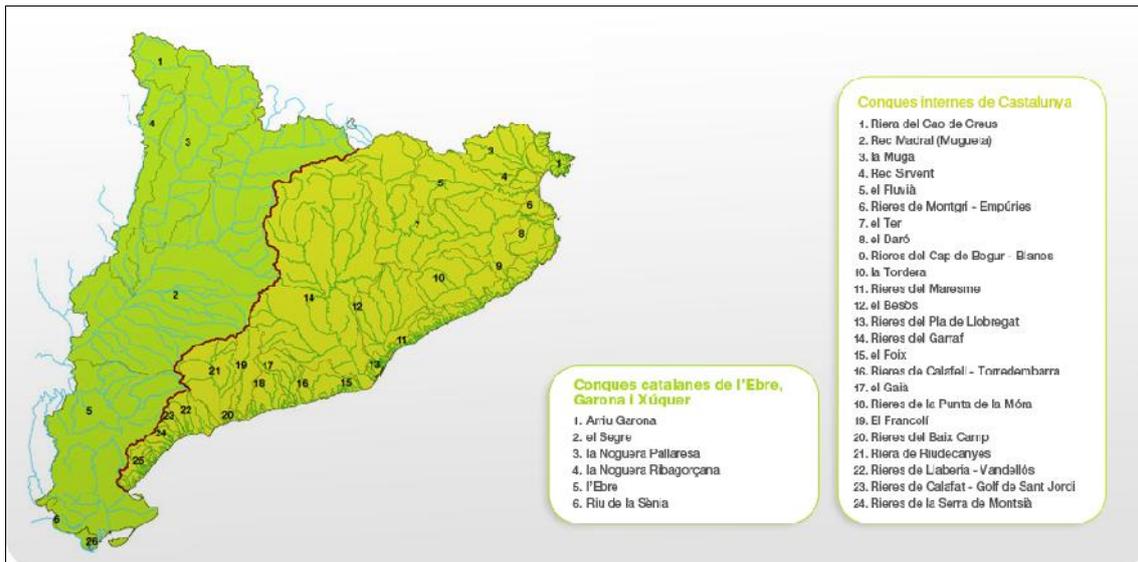


Figura 17. Mapa de cuencas y demarcaciones hidrográficas de Catalunya. Fuente: Agència Catalana de l'Aigua 2014.

El conjunto de cuencas internas de Catalunya se organiza en 28 unidades hidrológicas, cuencas y subcuencas o conjunto de las cuencas pequeñas, que representan el equivalente al 52% del territorio de Catalunya, una superficie de 16.600 km<sup>2</sup>, y 634 municipios Figura 18, ACA (2010).

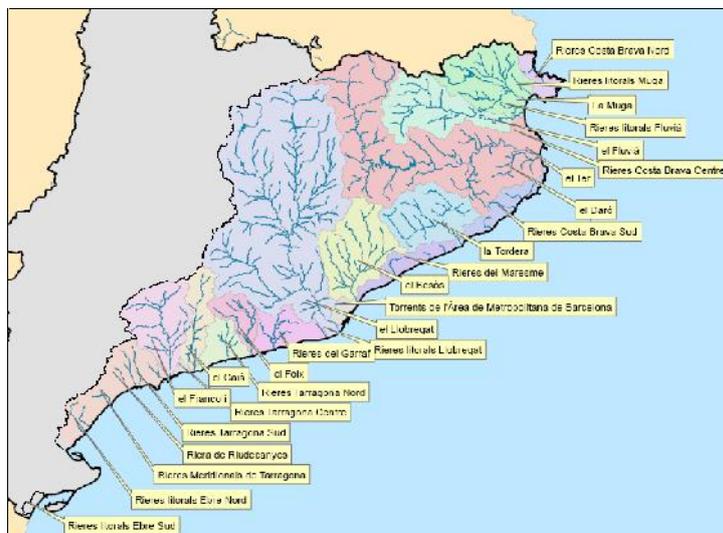


Figura 18. Distrito de Cuenca Fluvial de Catalunya. Fuente: PGDFCC 2010.

La cuenca hidrográfica del río Llobregat objeto de este estudio, forma parte de las cuencas internas de Catalunya. El nacimiento del río Llobregat se sitúa en el extremo Norte de la provincia de Barcelona, dentro del término municipal de Castellar de N'Hug en la Sierra del Cadí a unos 1.295 m de altitud, dentro de la comarca del Berguedà. La desembocadura del río se produce en el Mar Mediterráneo donde forma un delta pantanoso, el Delta del Llobregat dentro de la comarca del Baix Llobregat, Figura 19.

La longitud del río Llobregat es de 156,5 km y el área de influencia de la cuenca es de unos 4.957 km<sup>2</sup>, que se reparte total o parcialmente a través de las comarcas del Berguedà, Solsonès, Bages, Anoia, Alt Penedès, Vallès Occidental i Baix Llobregat.



Figura 19. Cuenca Hidrográfica del río Llobregat y comarcas principales que atraviesa el río.  
Fuente: Elaboración propia.

El río Llobregat como la mayoría de los ríos de la costa del este española, se caracteriza por tener un caudal variable escaso e irregular que puede ir de los pocos metros cúbicos por segundo en el nacimiento, hasta varios cientos de metros cúbicos por segundo en la zona de la desembocadura.

La climatología que caracteriza al río Llobregat es variable, de manera que se producen en el cauce del río crecidas y sequías que debido a su largo recorrido, que atraviesa diferentes comarcas y diferente tipología de clima, crean como resultado modificaciones morfológicas del propio cauce a lo largo del curso del agua Figura 20.



Figura 20. Tipos de Clima Mediterráneo en Catalunya. Fuente: Meteocat (2014).

Sin embargo a efectos generales el clima de Catalunya es un Clima Mediterráneo que se caracteriza por inviernos con temperaturas suaves, y veranos calurosos y secos.

La pluviometría es muy irregular, la presencia de la masa de aire mediterránea modera las temperaturas a la vez que puede generar lluvias torrenciales, sobre todo en las zonas del litoral y prelitoral. A medida que se avanza hacia el interior las características térmicas y pluviométricas se modifican, aumentando la amplitud térmica y disminuyendo las precipitaciones.

Dentro del contexto económico-social, el río Llobregat es probablemente el río con mayor número de industrias instaladas a lo largo de su curso fluvial, por lo que la cantidad de vertidos que en el río se producen es elevada. Muchas de las ciudades más importantes de Catalunya se encuentran ubicadas dentro del distrito de la cuenca fluvial del Llobregat como son por ejemplo Manresa, Terrassa, etc. (Figura 21) y en consecuencia los vertidos efluentes de las estaciones depuradoras de aguas residuales de estas ciudades también son vertidos al propio río

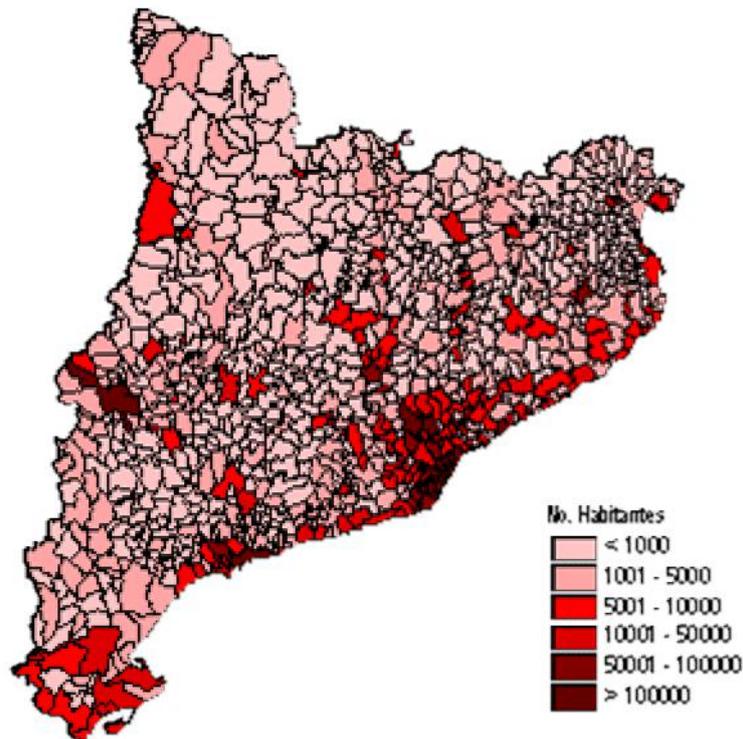


Figura 21. Distribución de la población en Catalunya. Fuente: IDESCAT (2014)

En la actualidad existen en torno a la cuenca hidrográfica del río Llobregat un total de 71 estaciones depuradoras de aguas residuales. El volumen total de agua que proviene de vertidos de efluentes de estaciones depuradoras es de 514.873 m<sup>3</sup>/día, datos ACA 2012.

En el tramo más bajo de la cuenca se sitúan dos plantas de tratamiento de agua potable, en los términos municipales de Sant Joan Despí y Abrera, que sirven para abastecer a aproximadamente 3 millones de habitantes y que tienen una capacidad de tratamiento de 4 m<sup>3</sup>/seg y 5,8 m<sup>3</sup>/seg respectivamente, datos AMB (2012).

La cuenca hidrológica del río Llobregat es la cuenca de mayor longitud de Cataluña y una de las más importantes, con un porcentaje de contribución a los recursos principales del 29,15%, según el plan de gestión del distrito de cuenca fluvial de Catalunya. (Figura 22).

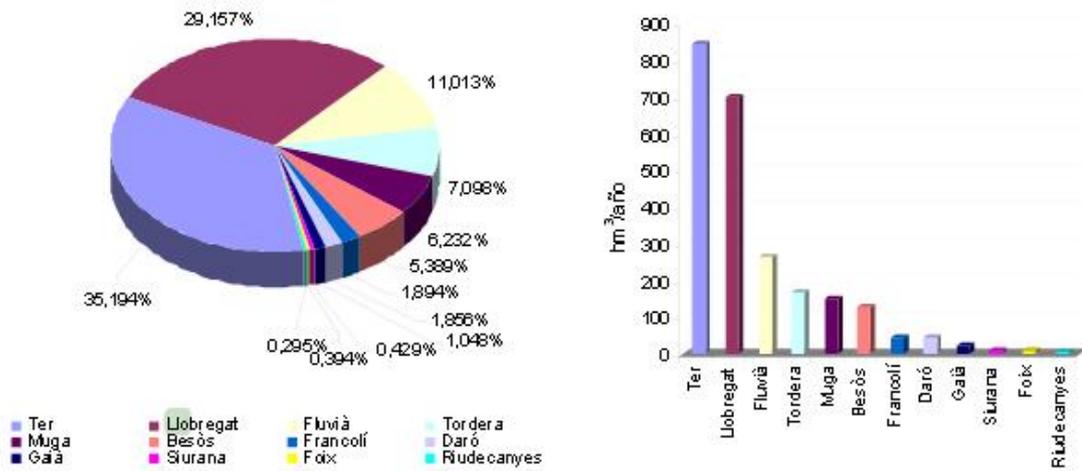


Figura 22. Contribución por cuencas a los recursos principales de Catalunya. Fuente: Plan de gestión del distrito de cuenca fluvial de Catalunya PGDCFC 2010.

El río Llobregat es el recurso de abastecimiento de agua potable para poblaciones como Sabadell, Hospitalet de Llobregat y buena parte de la misma Barcelona, por lo que es el segundo recurso natural de agua potable que más contribuye a los recursos principales de abastecimiento del área metropolitana de Barcelona.

### 4.3. CAUDALES AFORADOS

Los datos de caudales aforados de los que se dispone información son los correspondientes a las 5 estaciones de aforo que se distribuyen a lo largo del cauce principal del río Llobregat (156,5 km) y que se pueden consultar a través del visor de consulta de datos, *Xarxes de control*, de la página web de la Agència Catalana de l'Aigua, Figura 23.

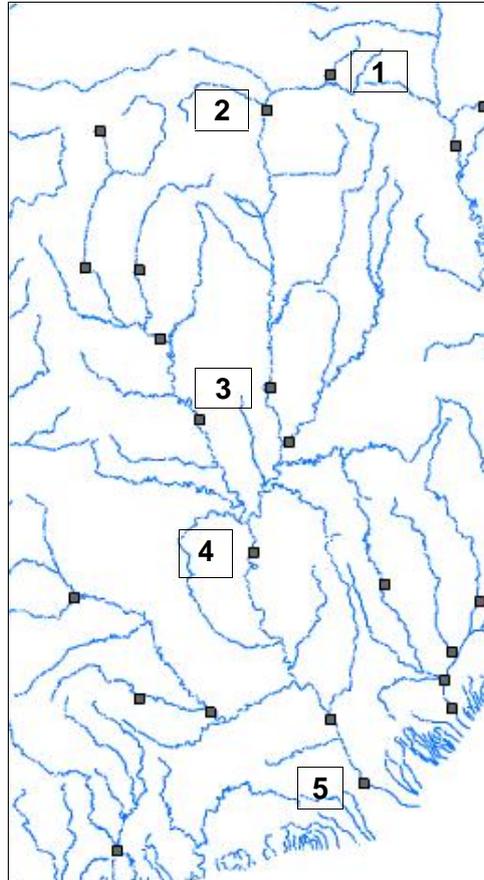


Figura 23. Estaciones de Aforo: 1.Castellar de n'Hug, 2.Guardiola de Berguedà, 3. Balsareny, 4. Castellbell i el Vilar y 5. Sant Joan Despí, desde la cabecera hasta la desembocadura respectivamente. Fuente: Elaboración propia.

Las coordenadas de los puntos de aforo de los que se dispone de datos para el cauce principal del río Llobregat se muestran en la Tabla 10.

Tabla 10. Coordenadas UTM estaciones de aforo del cauce principal río Llobregat.

Estación de Aforo	Coordenadas UTM	
	X	Y
Castellar de n'Hug 1	415662	4679126
Guardiola de Berguedà 2	406706	4674198
Balsareny 3	407058	4634787
Castellbell y el Vilar 4	404933	4611165
Sant Joan Despí 5	420245	4578251

Los datos de caudal disponibles, para cada una de las estaciones de aforo, son valores promedios diarios para un mes en m<sup>3</sup>/seg y se recogen para diferentes periodos de tiempo anualmente, que puede variar en función de la estación de aforo, Tabla 11.

Tabla 11. Periodo de tiempo para el que se tiene una serie completa anual.

Estación de Aforo	Periodo de tiempo
Castellar de n'Hug 1	2007-2010
Guardiola de Berguedà 2	2007-2013
Balsareny 3	2004-2010
Castellbell y el Vilar 4	2004-2013
Sant Joan Despí 5	2004-2013

Para realizar los cálculos se tiene en cuenta el valor total de los valores promedios mensuales para un año completo, y se considera a este número el valor característico para cada año en cuestión, (Datos aforados Anexo 0).

Como se ha explicado anteriormente cada uno de los puntos de control y/o aforo dividen al río en los tramos en los que se realiza el experimento objeto de este estudio.

#### 4.3.1. Caudales aforados año 2007

El dato del caudal en cada estación de aforo para el año 2007 corresponde a un valor característico promedio del caudal que pasa por una sección del río en un día, m<sup>3</sup>/día.

El coeficiente de variación (CV) de todos los valores promedios muestra que, es en el tramo medio del río donde el promedio de las diferencias resulta mayor, Tabla 12.

Tabla 12. Caudales promedio aforados durante el año 2007. Máximo y mínimo.

Punto de Aforo	Medio m <sup>3</sup> /día	Máximo m <sup>3</sup> /día	Mínimo m <sup>3</sup> /día	CV
Castellar de n'Hug	48114,83	171132,19	15858,75	99,64%
Guardiola de Berguedà	153370,29	712514,30	21124,80	142,74%
Balsareny	405454,70	526556,78	228673,77	24,81%
Castellbell i el Vilar	456205,51	719155,87	374766,34	21,82%
Sant Joan Despí	391386,77	1294356,38	150803,12	85,03%

La Figura 24 muestra la evolución del caudal a lo largo de los puntos de aforo que se distribuyen en el cauce del río Llobregat para el año 2007. El volumen de caudal es creciente hasta el aforo del último punto, donde el volumen disminuye.

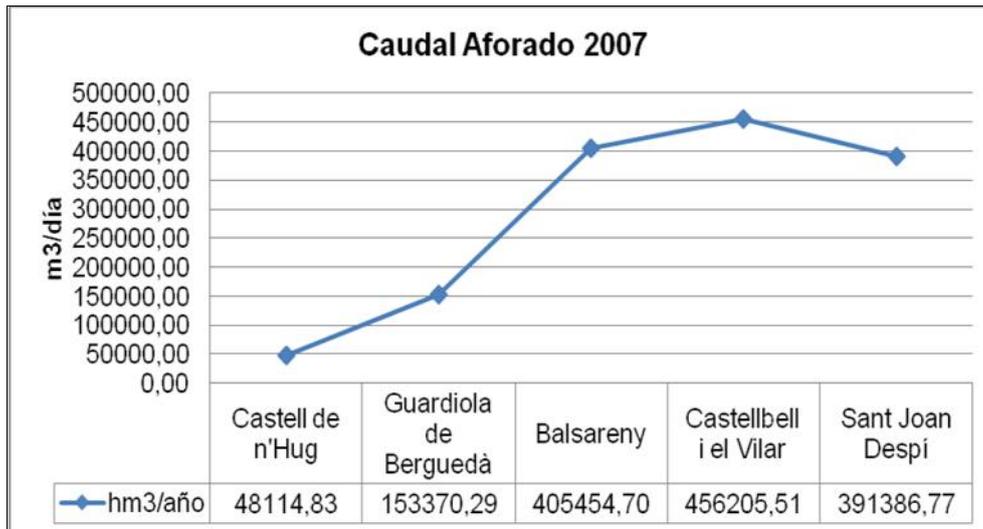


Figura 24. Caudales Aforados recorrido río Llobregat. Año 2007.

#### 4.3.2. Caudales aforados año 2008

Los datos de caudal aforados para el año 2008 corresponde a un valor característico promedio del caudal que pasa por una sección de control en un día, m<sup>3</sup>/día. Al igual que en el año 2008 las secciones con valores promedios de mayor variabilidad son las secciones centrales, Balsareny y Castellbell i el Vilar, Tabla 13.

Tabla 13. Caudales promedio aforados durante el año 2008. Máximo y mínimo.

Punto de Aforo	m <sup>3</sup> /día	Máximo m <sup>3</sup> /día	Mínimo m <sup>3</sup> /día	CV
Castellar de n'Hug	86467,11	346587,75	12305,80	116,95%
Guardiola de Berguedà	372296,65	1285993,21	49228,21	123,28%
Balsareny	580072,52	1127120,64	215433,79	48,80%
Castellbell i el Vilar	808536,82	2140291,69	410755,73	69,85%
Sant Joan Despí	701488,57	1863896,97	122433,54	90,05%

Siguiendo el patrón del año anterior (2007), el valor del volumen aumenta a medida que se avanza en el recorrido del río y disminuye en el último tramo, Figura 25.

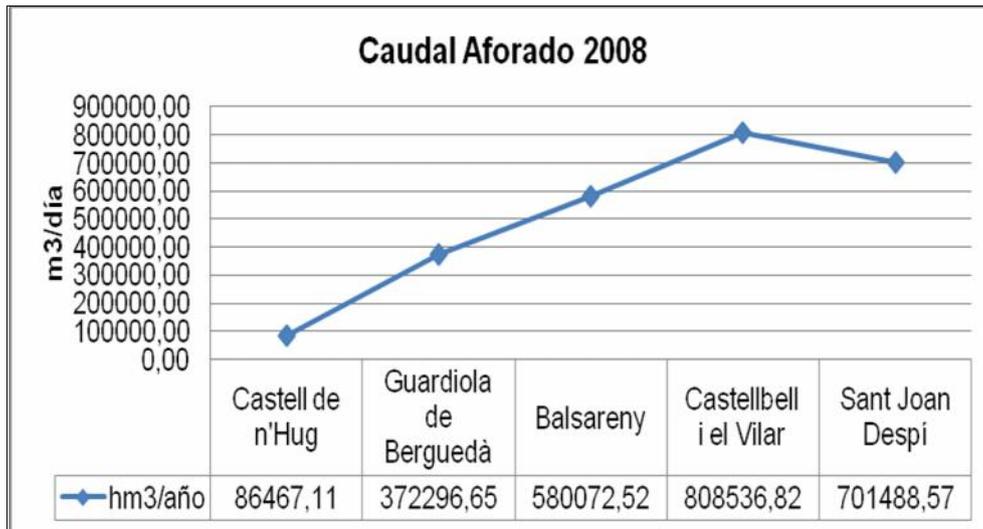


Figura 25. Caudales Aforados recorrido río Llobregat. Año 2008.

#### 4.3.3. Caudales aforados año 2013

Finalmente los datos sobre el caudal aforados a lo largo del recorrido del río Llobregat, Tabla 14 se suceden de manera distinta. El Coeficiente de variación de las muestras de datos de caudal se aleja de la unidad en casi todas las muestras, lo que supone una variabilidad mayor en todos los tramos. Sin embargo sigue siendo el tramo más central, Balsareny, el que tiene mayor variabilidad, Tabla 14.

Tabla 14. Caudales promedio aforados durante el año 2013. Máximo y mínimo.

Punto de Aforo	m3/día	Máximo m3/día	Mínimo m3/día	CV
Castellar de n'Hug*	102810,62	259509,49	35449,78	69,82%
Guardiola de Berguedà	492616,99	1581031,84	109728,00	91,90%
Balsareny*	728910,33	1388728,45	415904,29	42,50%
Castellbell i el Vilar	967438,33	2889054,54	487255,56	68,12%
Sant Joan Despí	990728,81	3454383,48	331218,58	89,85%

\* Los datos de las estaciones de Castellar de n'Hug y Balsareny corresponden al año 2010.

El volumen de agua del último tramo no disminuye, sino que aumenta ligeramente, Figura 26.

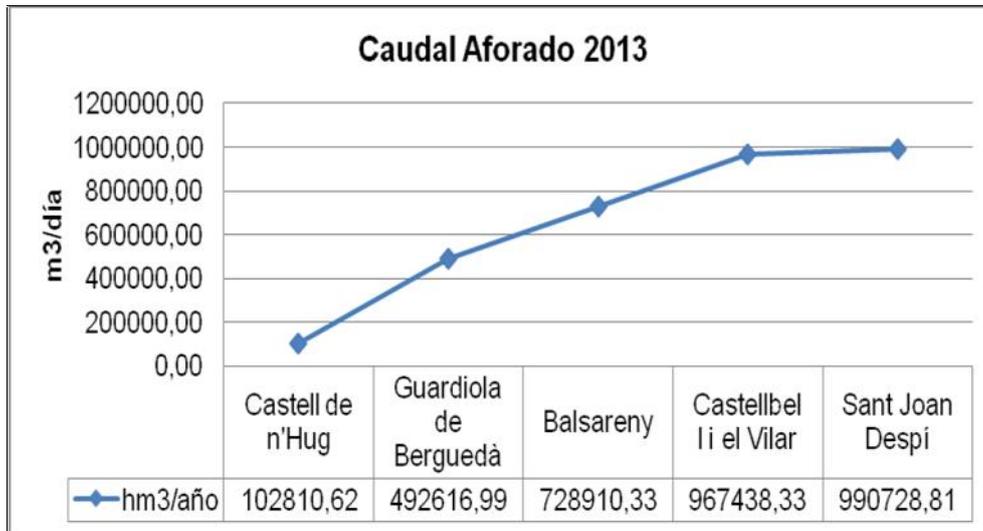


Figura 26. Caudales Aforados recorrido río Llobregat. Año 2013.

#### 4.3.4. Comentarios sobre los datos

Los caudales, como es lógico, tienen una tendencia creciente a medida que se avanza en el cauce, ya que existe una mayor aportación de la cuenca hidrológica, sin embargo en el último tramo el caudal aforado disminuye. Este hecho es probablemente debido a que es en este último tramo, donde las captaciones superficiales son más elevadas (ETAP Abrera y ETAP Sant Joan Despí).

El incremento de volumen de caudal entre el año 2007 y el 2013 en promedio para cada estación es del 145% sobre el valor inicial. Se observa claramente la diferencia de volúmenes entre el periodo de tiempo de sequía (Año 2007) y el periodo normal (Año 2013) para los mismos puntos de aforo, Tabla 15.

Tabla 15. Caudales aforados de los que se dispone la serie completa, m³/día.

Caudal m³/día	2007	2008	2013	Incremento 2007-2013
Guardiola de Berguedà	153370,29	372296,65	492616,99	221%
Castellbell i el Vilar	456205,51	808536,82	967438,33	112%
Sant Joan Despí	391386,77	701488,57	990728,81	153%
Promedio	333654,19	627440,68	816928,04	145%

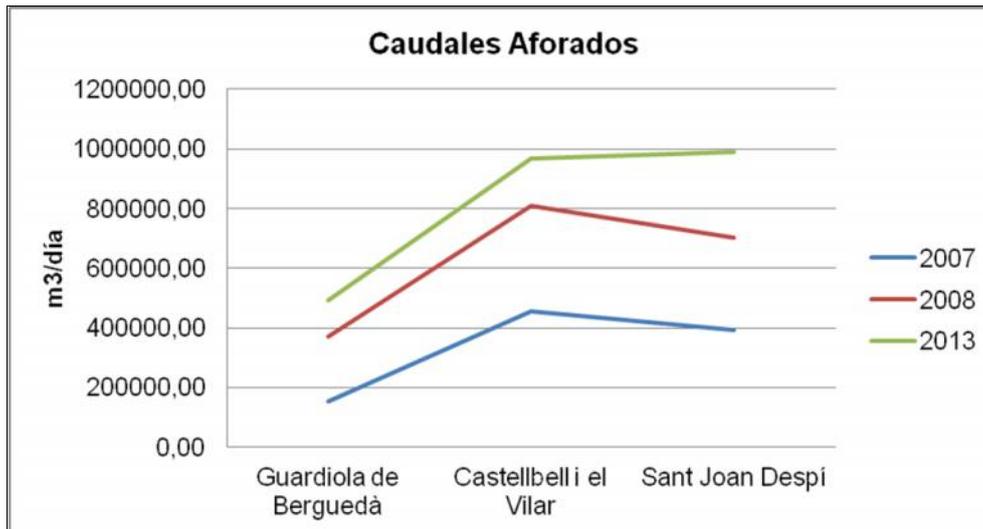


Figura 27. Caudales Aforados recorrido río Llobregat. Periodo de año 2007-2013.

Debido a la consecución de varios años húmedos desde el último periodo de sequía en el bienio 2007-2008, es posible que el hecho de que en el último tramo de río el caudal se mantenga al alza para el año 2013, sea porque las captaciones superficiales hayan disminuido a favor a las captaciones subterráneas, o simplemente puede ser debido a que el caudal que transporta el río es bastante superior al caudal de captación superficial en el tramo final del río y a pesar de la extracción el incremento del volumen en el último tramo se mantenga positivo.

#### 4.4. ESTACIONES DEPURADORAS DE AGUAS RESIDUALES, EDAR

Según los datos facilitados por la Agència Catalana de l'Aigua, existen en el año 2012 en total 71 unidades de estaciones depuradoras de aguas residuales a lo largo del cauce principal del río Llobregat y de sus afluentes, datos ACA 2012, Anexo 0.

Los datos del caudal procedente de efluentes de EDAR de los que se disponen datos corresponden a los siguientes periodos de tiempo:

1. El bienio 2007-2008, clasificado según el ACA como el peor periodo en los últimos 68 años debido a la falta de precipitaciones en los años anteriores.
2. El año 2012, que corresponde a un año normal.

Las estaciones depuradoras de aguas residuales del río Llobregat son las encargadas de dar servicio a 2,3 millones de habitantes, Generalitat de Catalunya (2014), lo que aproximadamente es el 30% del total de la población de Catalunya.

El número de depuradoras existentes en la cuenca del río Llobregat, ha ido variando a lo largo de los años, sin embargo las depuradoras que más han crecido en número, son las estaciones que tratan un caudal inferior a 100 m<sup>3</sup>/día como se observa en la Tabla 16.

Tabla 16. Número total de estaciones depuradoras de aguas residuales a lo largo del cauce del río Llobregat durante los años 2007, 2008 y 2012.

Rango Caudal m <sup>3</sup> /día	2007	2008	2012	Incremento Neto
Q<100	6,00	7,00	13,00	217%
100<Q<1000	27,00	27,00	32,00	119%
1000<Q<10000	15,00	17,00	18,00	120%
10000<Q<100000	7,00	7,00	7,00	100%
100000<Q<1000000	1,00	1,00	1,00	100%
TOTAL	56,00	59,00	71,00	127%

A pesar de que el número total de EDAR ha aumentado, el caudal vertido por las EDAR que se sitúan ubicadas a lo largo del cauce del río Llobregat, durante el periodo temporal de estudio, 2007-2012 ha disminuido.

Según publicaciones recientes, el volumen de agua efluente de las estaciones depuradoras de aguas residuales del río Llobregat se sitúa en la actualidad, año 2014, en 490.624 m<sup>3</sup>/día, Generalitat de Catalunya (2014) valor que está incluso por debajo del valor del año 2012, Tabla 17.

Tabla 17. Caudal depurado vertido procedente de efluentes de estaciones depuradoras de aguas residuales situadas en el cauce del río Llobregat durante los años 2007, 2008 y 2012.

Año	Caudal (m <sup>3</sup> /día)	Incremento	Caudal (hm <sup>3</sup> /año)
2007	538089,00		196,40
2008	529001,52	-1,69%	193,09
2012	514873,18	-2,67%	187,93

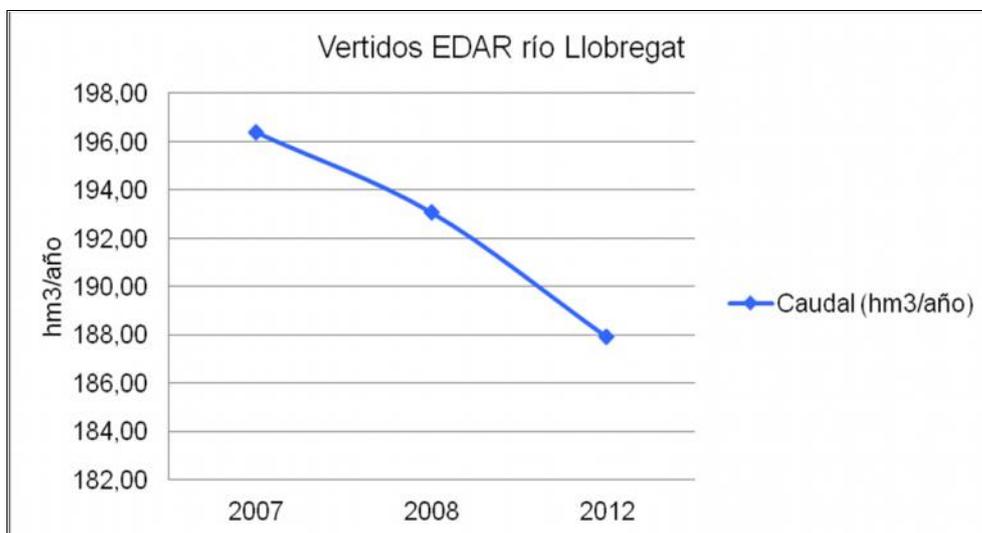


Figura 28. Caudal depurado vertido procedente de efluentes de estaciones depuradoras de aguas residuales situadas en el cauce del río Llobregat. Años 2007, 2008 y 2012.

Gracias al incremento progresivo de sistemas de depuración así como a las mejoras, ampliaciones y reposiciones en materia de saneamiento llevadas a cabo en los últimos 35 años, la mejora cualitativa de la cuenca del río Llobregat, la recuperación de algunas comunidades biológicas y la reducción del nitrógeno y el fósforo se sitúa hoy en día cerca de un 40%, Generalitat de Catalunya (2014).

#### 4.4.1. Caudales vertido año 2007

A lo largo de la cuenca del río Llobregat para el año 2007, existen en total 56 estaciones depuradoras de aguas residuales diferentes, que vierten sus efluentes depurados o bien directamente al cauce del río, o a alguno de sus afluentes o a través de emisarios submarinos, Tabla 18.

Tabla 18. Datos EDAR que vierten al río Llobregat. Año 2007.

Caudales Llobregat 2007				
Nº	DEPURADORA	Caudal unit. m <sup>3</sup> /día	Caudal acum. m <sup>3</sup> /día	Incremento
1	CASTELLAR DE N'HUG	90	90	2257,78%
2	BAGÀ/GUARDIOLA DE BERGUEDÀ	2032	2122	11,40%
3	CERCS	242	2364	170,18%
4	BERGA	4023	6387	15,11%
5	GIRONELLA	965	7352	1,89%
6	CASSERRES	139	7491	7,98%
7	PUIG-REIG	598	8089	0,91%
8	ALPENS	74	8163	5,92%
9	PRATS DEL LLUÇANÈS	483	8646	0,35%
10	MOJAL, EL	30,00	8676	9,87%
11	NAVÀS	856	9532	7,31%
12	BALSARENY	697	10229	1,06%
13	CASTELLNOU DE BAGES	108	10337	25,67%
14	SALLENT/ARTÉS	2654	12991	2,29%
15	AVINYÓ	297	13288	1,85%
16	OLOST	246	13534	35,12%
17	NAVARCLES/SANT FRUITÓS/SANTPEDOR	4753	18287	2,42%
18	PONT DE VILOMARA, EL	443	18730	169,54%
19	Afluente Cardener	31755	50485	4,12%
20	MOIÀ	2078	52563	4,49%
21	CASTELLBELL I EL VILAR	2358	54921	3,60%
22	MONISTROL DE MONTSERRAT	1978	56899	28,01%
23	ABRERA	15937	72836	0,04%
24	CASOTS, ELS	27,00	72863	1,87%
25	VILADECALLS (EST)	1364	74227	0,33%
26	VILADECALLS (OEST)	244	74471	9,45%
27	MARTORELL	7040	81511	33,70%
28	Afluente Anoia	27468	108979	63,30%
29	Afluente Riera de Rubí	68979	177958	0,28%
30	CORBERA DE LLOBREGAT (Riera)	500,00	178458	27,38%
31	SANT FELIU DE LLOBREGAT	48868	227326	119,93%
32	GAVÀ/VILADECANS	38130	265456	16,77%
33	PRAT DEL LLOBREGAT, EL	272633	538089	102,70%

Si se analiza los volúmenes vertidos a lo largo del recorrido de la cuenca, Figura 29, se observa que hasta la confluencia entre el río Llobregat y la Riera de Rubí (nº 29), la pendiente de la gráfica para el caudal acumulado es similar.

En cuanto al valor de magnitud de los vertidos los mayores incrementos se suceden en la confluencia del río Cardener (nº 19), la aportación del vertido de Abrera (nº 23) y por último con las aportaciones del afluente Anoia (nº 28) y en mayor medida la Riera de Rubí (nº 29).

El último tramo los caudales efluentes de las EDAR de Gavà/Viladecans (nº32) y el Prat de Llobregat (nº33), suponen un incremento de caudal de vertido elevado, sin embargo este caudal es evacuado a través de emisarios submarinos al Mar Mediterráneo.



Figura 29. Caudales unitarios y acumulados de los efluentes de vertido EDAR asociadas a la cuenca del río Llobregat. Año 2007

Si se realiza una agrupación de las EDAR teniendo en cuenta su capacidad se observa que la EDAR de mayor vertido es la del Prat de Llobregat con un porcentaje sobre el vertido total del 50,67%. Sin embargo el caudal del efluente de la EDAR de Llobregat es vertido a través de un emisario submarino al Mar Mediterráneo, por lo que no es un volumen a tener en cuenta a la hora de calcular diluciones durante el recorrido del río, Tabla 19.

Tabla 19. Tipología de EDAR a lo largo del cauce principal y de sus afluentes. Parámetros estadísticos y caudal total. Año 2007.

Rango Caudal m <sup>3</sup> /día	EDAR	Q total m <sup>3</sup> /día	%
Q<100	6,00	281,00	0,05%
100<Q<1000	27,00	12679,00	2,36%
1000<Q<10000	15,00	38981,00	7,24%
10000<Q<100000	7,00	213515,00	39,68%
100000<Q<1000000	1,00	272633,00	50,67%
TOTAL	56,00	538089,00	100,00%
Promedio		9608,73	
Máximo	El Prat Llobregat	272633,00	50,67%
Mínimo	Els Casots	27,00	0,01%

La EDAR que trata un mayor caudal, es la del Prat de Llobregat que vierte un efluente de más del 50% del total del volumen de vertido del total de las EDAR al completo.

#### 4.4.2. Caudales vertido año 2008

A lo largo de la cuenca del río Llobregat para el año 2008, existen en total 59 estaciones depuradoras de aguas residuales diferentes que vierten sus efluentes o bien directamente al cauce del río, o bien a alguno de sus afluentes o a través de emisarios submarinos, Tabla 20. Con respecto al año anterior existen en número 3 unidades más de EDAR.

Tabla 20. Datos EDAR que vierten al río Llobregat. Año 2008.

Caudales Llobregat 2008				
Nº	DEPURADORA	Caudal unit. m <sup>3</sup> /día	Caudal acum. m <sup>3</sup> /día	Incremento
1	CASTELLAR DE N'HUG	88	88	
2	BAGÀ/GUARDIOLA B.	1967	2055	2239%
3	CERCS	463	2518	23%
4	NOU DE BERGUEDÀ, LA	80	2598	3%
5	BERGA	5450	8048	210%
6	GIRONELLA	1038	9086	13%
7	CASSERRES	151	9238	2%
8	PUIG-REIG	646	9884	7%
9	ALPENS	97	9981	1%
10	PRATS DEL LLUÇANÈS	640	10621	6%
11	MUJAL	30	10651	0%
12	NAVÀS	906	11557	9%
13	BALSARENY	710	12266	6%
14	CASTELLNOU DEL BAGES	107	12373	1%
15	SALLENT/ARTÈS	2694	15067	22%
16	AVINYÓ	304	15371	2%
17	OLOST	421	15793	3%
18	NAVARCLES/SANT FRUITÓS/SANTPEDOR	3990	19783	25%
19	PONT DE VILOMARA, EL	514	20297	3%
20	Afluente Cardener	30820	51116	152%
21	MOIÀ	1644	52760	3%
22	CASTELLBELL I EL VILAR	2537	55297	5%
23	MONISTROL DE MONTSERRAT	1654	56951	3%
24	ABRERA	15597	72548	27%
25	CASOTS, ELS	27	72575	0%
26	VILADECÀVALLS (EST)	1258	73833	2%
27	VILADECÀVALLS (OEST)	236	74070	0%
28	MARTORELL	6778	80847	9%
29	Afluente Anoia	28622	109469	35%
30	Afluente Riera de Rubí	66187	175655	60%
31	SANT FELIU DE LLOBREGAT	45909	221565	26%
32	GAVÀ/VILADECANS	41070	262635	19%
33	PRAT DE LLOBREGAT, EL	266507	529142	101%

Las EDAR que se distribuyen a lo largo de la cuenca del río Llobregat se recogen en la tabla anterior según se encuentran ubicadas desde la cabecera hasta la desembocadura. El volumen de agua efluente de las EDAR de los afluentes del río Llobregat se recogen en su totalidad en la fila que corresponde al afluente en cuestión.

Los caudales vertidos durante el recorrido del río Llobregat y de sus afluentes para el año 2008 siguen el mismo criterio que para el año 2007 anterior:

Los volúmenes vertidos a lo largo del recorrido de la cuenca, Figura 30, tienen una pendiente similar, por lo que el incremento es relativamente constante.

Ésta tendencia solo se ve afectada en el momento que se le añade a la cuenca los efluentes de vertidos procedentes de los afluentes, el río Cardener (nº20), el Anoia (nº29) y la riera de Rubí (nº30).

Ocurre lo mismo en el último tramo donde los caudales efluentes de las EDAR de Gavà/Viladecans (nº32) y el Prat de Llobregat (nº33) que suponen un caudal elevado de vertido y por lo tanto un incremento del caudal vertido importante, sin embargo este caudal es vertido a través de emisario submarino al Mar Mediterráneo y no se tendrá en cuenta a la hora de calcular diluciones en el caudal de escorrentía del río.



Figura 30. Caudales unitarios y acumulados de los efluentes de vertido EDAR asociadas a la cuenca del río Llobregat. Año 2008

Si se realiza una agrupación de las EDAR teniendo en cuenta su capacidad se observa que la EDAR de mayor vertido es la del Prat de Llobregat con un porcentaje sobre el vertido total del 50,38%. Sin embargo el caudal del efluente de la EDAR de Llobregat es vertido a través de un emisario submarino al Mar Mediterráneo, como ya se ha comentado anteriormente, Tabla 21.

Tabla 21. Tipología de EDAR a lo largo del cauce principal y de sus afluentes. Parámetros estadísticos y caudal total. Año 2008.

Rango Caudal m3/día	EDAR	Q medio m3/día	%
Q<100	7,00	382,24	0,07%
100<Q<1000	27,00	12017,10	2,27%
1000<Q<10000	17,00	40940,63	7,74%
10000<Q<100000	7,00	209154,92	39,54%
100000<Q<1000000	1,00	266506,64	50,38%
TOTAL	59,00	529001,52	100,00%
Promedio		8966,13	
Máximo	El Prat LI.	266506,64	50,38%
Mínimo	Els Casots	27,00	0,01%

#### 4.4.3. Caudales vertido año 2012

A lo largo de la cuenca del río Llobregat para el año 2012, existen en total 71 estaciones depuradoras de aguas residuales diferentes que vierten sus efluentes o bien directamente al cauce del río, o bien a alguno de sus afluentes o a través de emisarios submarinos, Tabla 22.

Tabla 22. Datos EDAR que vierten al río Llobregat. Año 2012.

Caudales Llobregat 2012				
Nº	DEPURADORA	Caudal unit. m <sup>3</sup> /día	Caudal acum. m <sup>3</sup> /día	Incremento
1	CASTELLAR DE N'HUG	70	70	
2	POBLA DE LILLET	211	281	300%
3	BAGÀ/GUARDIOLA B.	1776	2057	632%
4	SANT CORNELI DE CERCS	115	2172	6%
5	CERCS	406	2579	19%
6	BERGA	5031	7610	195%
7	GIRONELLA	1037	8647	14%
8	CASSERRES	248	8895	3%
9	PUIG-REIG	520	9415	6%
10	ALPENS	66	9482	1%
11	PRATS DEL LLUÇANÈS	484	9966	5%
12	MUJAL	30	9996	0%
13	NAVÀS	969	10965	10%
14	BALSARENY	825	11790	8%
15	CASTELLNOU DEL BAGES	93	11882	1%
16	CASTELLNOU DEL BAGES - LA FIGUEROLA	13	11895	0%
17	SALLENT/ARTÈS	2211	14106	19%
18	AVINYÓ	300	14407	2%
19	OLOST	348	14754	2%
20	NAVARCLES/SANT FRUITÓS/SANTPEDOR	3526	18280	24%
21	PONT DE VILOMARA, EL	467	18748	3%
22	Afluente Cardener	30958	49706	165%
23	MONTVÍ DE BAIX	41	49747	0%
24	MOIÀ	1760	51507	4%
25	CASTELLBELL I EL VILAR	2285	53792	4%
26	MONISTROL DE MONTSERRAT	2064	55856	4%
27	ABRERA	14575	70431	26%
28	CASOTS, ELS	27	70458	0%
29	VILADECALLS (EST)	1419	71877	2%
30	VILADECALLS (OEST)	290	72167	0%
31	MARTORELL	6954	79122	10%
32	LLEDONER	58	79180	0%
33	Afluente Anoia	35215	114394	44%
34	Afluente Riera de rubí	61972	214989	88%
35	CORBERA DE LLOBREGAT (RIERA)	500	215489	0%
36	SANT FELIU DE LLOBREGAT	45973	261462	21%
37	GAVÀ/VILADECANS	38623	300085	15%
38	PRAT DE LLOBREGAT, EL	253411	553496	84%

Las EDAR que se distribuyen a lo largo de la cuenca del río Llobregat se recogen en la tabla anterior según se encuentran ubicadas desde la cabecera hasta la desembocadura. El volumen de agua efluente de las EDAR de los afluentes del río Llobregat se recogen en su totalidad en la fila que corresponde al afluente en cuestión.

Los caudales vertidos durante el recorrido del río Llobregat y de sus afluentes para el año 2012 siguen el mismo criterio que para los años anteriores año 2007 y año 2008:

Los volúmenes vertidos a lo largo del recorrido de la cuenca, Figura 31, tienen una pendiente similar, por lo que el incremento es relativamente constante. El volumen de caudal acumulado es relativamente pequeño (inferior a 20000 m<sup>3</sup>/día) hasta la confluencia con el río Cardener, donde la magnitud del caudal aumenta en más del doble de caudal acumulado (aproximadamente 50000 m<sup>3</sup>/día).



Figura 31. Caudales unitarios y acumulados de los efluentes de vertido EDAR asociadas a la cuenca del río Llobregat. Año 2012

De la misma manera que en los casos anteriores, prácticamente es la aportación de los caudales de los afluentes y en mayor medida el de la riera de Rubí, lo que hace aumentar de manera significativa el volumen de agua depurada vertida al río (Anoia un 44% de aumento y Rubí un 88%).

En el último tramo es la EDAR del Prat de Llobregat la que aumenta el volumen de vertido drásticamente, sin embargo éste caudal es evacuado a través de un emisario submarino al Mar Mediterráneo.

#### 4.4.4. Comentarios sobre los datos

La distribución de las EDAR a lo largo del cauce del río Llobregat es uno de los factores importantes a la hora de establecer las conclusiones oportunas. Como se observa en la Figura 32, el caudal acumulado a lo largo del cauce aumenta de manera drástica una vez ha asumido el volumen de los vertidos que proceden de la totalidad de los afluentes más importantes, Cardener, Anoia y la Riera de Rubí, sin embargo es en el tramo final entre la riera de Rubí y la EDAR del Prat de Llobregat donde se concentra el mayor porcentaje de agua residual que se genera en las EDAR que se reparten a lo largo del río Llobregat.

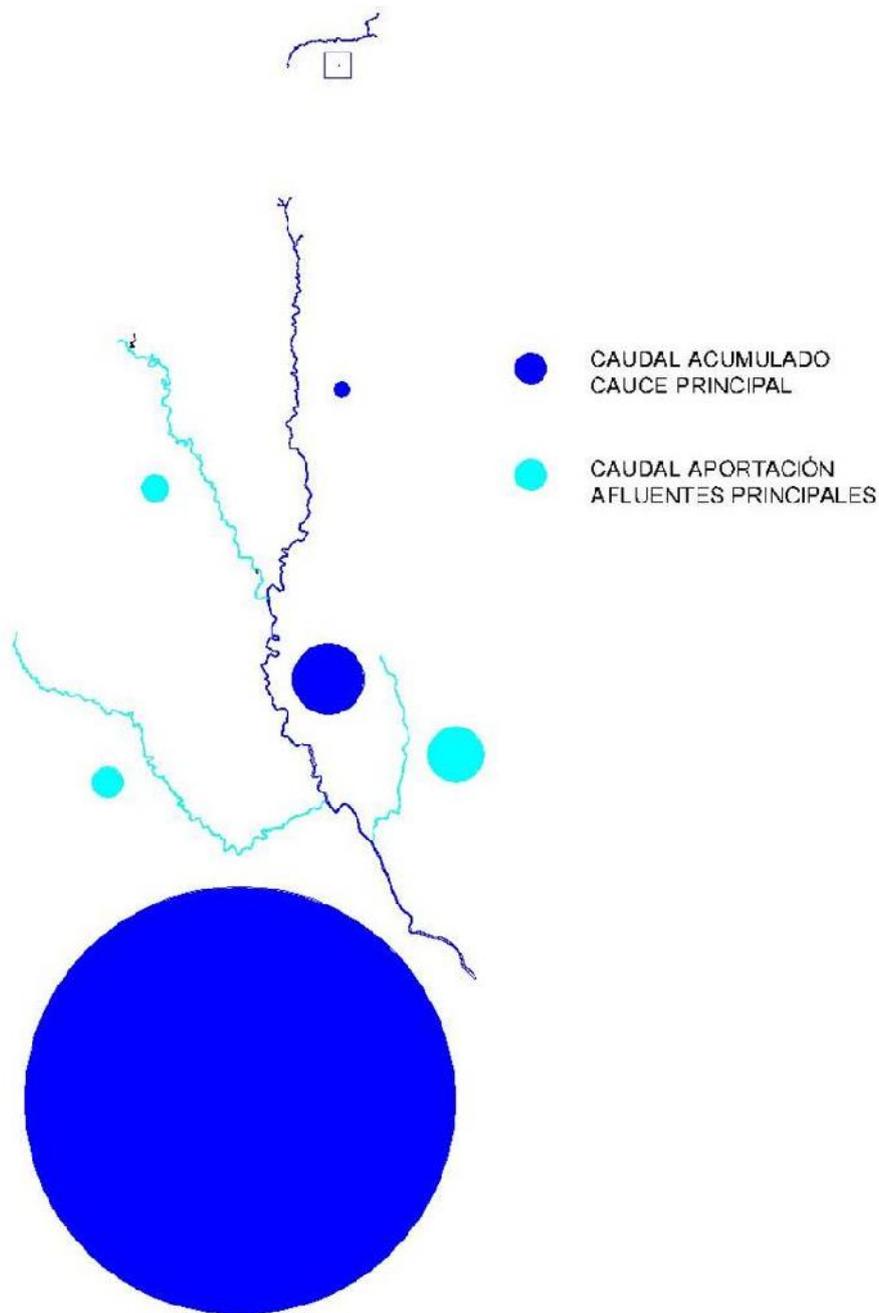


Figura 32. Esquema sobre los caudales de vertido a lo largo del cauce del río Llobregat y de sus afluentes más importantes: Cardener, Anoia y Riera de Rubí. Fuente: Elaboración propia.

La riera de Rubí aporta un volumen de agua de vertido (aprox. 62000 m<sup>3</sup>/día) similar al volumen de agua acumulado hasta el punto donde confluyen el cauce principal del río Llobregat y el río Anoia (aprox. 80000 m<sup>3</sup>/día). Esto es debido a que la riera aporta al cauce principal del río Llobregat el vertido procedente de la tercera y la quinta estación depuradora de aguas residuales más grande de la cuenca, la EDAR de Terrassa y la EDAR de Rubí respectivamente.

#### 4.5. CAPTACIONES SISTEMA RÍO LLOBREGAT

Como se observa en la Figura 33, el área metropolitana de Barcelona se abastece en más de un 40% (Lado Llobregat + Subterránea Aigües de Barcelona AGBAR) del agua que se capta del sistema del río Llobregat, bien superficialmente o a través de pozos de extracción de agua subterránea.

Tabla 23. Datos de captaciones de los sistemas Ter y Llobregat. Fuente: Área Metropolitana de Barcelona, 2012.

hm <sup>3</sup> /año	2012	
Lado Llobregat (superficial + desalinizada)	89,32	38,35%
Lado Ter (superficial + desalinizada)	108,4	46,55%
Subterránea AGBAR	25,12	10,79%
Subterránea resto de compañías	10,04	4,31%
<b>Total</b>	<b>232,9</b>	<b>100%</b>



Figura 33. Procedencia del agua que abastece al área metropolitana de Barcelona. Fuente: AMB 2012.

Los datos de caudales de captación de los que se dispone información son los facilitados por la Agència Catalana de l'Aigua y corresponden a los volúmenes de captación para abastecimiento (dotación municipal) y la captación para riego diferenciando entre el método de extracción del agua, si es superficial y/o subterránea respectivamente. Los datos facilitados por el ACA corresponden al periodo de tiempo comprendido entre el año 2007 y el año 2012, Tabla 24.

Tabla 24. Captaciones del sistema del río Llobregat. Fuente: Agència Catalana de L'aigua (2014)

hm <sup>3</sup> /año	2007	2008	2009	2012
Manresa. Superficial	9,44	8,73	8,36	9,11
Aigües de Terrassa. Superficial	6,50	5,47	4,00	4,44
ATLL Abrera. Superficial	54,63	54,83	64,98	57,09
AGBAR St. Joan Despí. Superficial	57,77	82,34	108,08	84,27
Aigües de Terrassa. Subterránea	8,38	9,25	10,81	10,14
ATLL Abrera. Subterránea			1,04	0,39
AGBAR St. Joan Despí. Subterránea	37,47	35,72	10,74	25,22
<b>Total Abastament</b>	<b>174,19</b>	<b>196,33</b>	<b>208,01</b>	<b>190,67</b>
Canal de la Derecha	18,26	13,53	22,06	23,74
Acequia de Manresa	9,30	7,45	5,86	12,47
<b>Total Riego</b>	<b>27,57</b>	<b>20,98</b>	<b>27,91</b>	<b>36,20</b>
<b>Total Agua Sistema Llobregat</b>	<b>201,76</b>	<b>217,31</b>	<b>235,92</b>	<b>226,87</b>

Si se dibuja en una gráfica la tendencia del valor de la captación para la serie de datos anuales, Figura 34, en general entre el año 2007 y el año 2012, el volumen de captación aumenta.

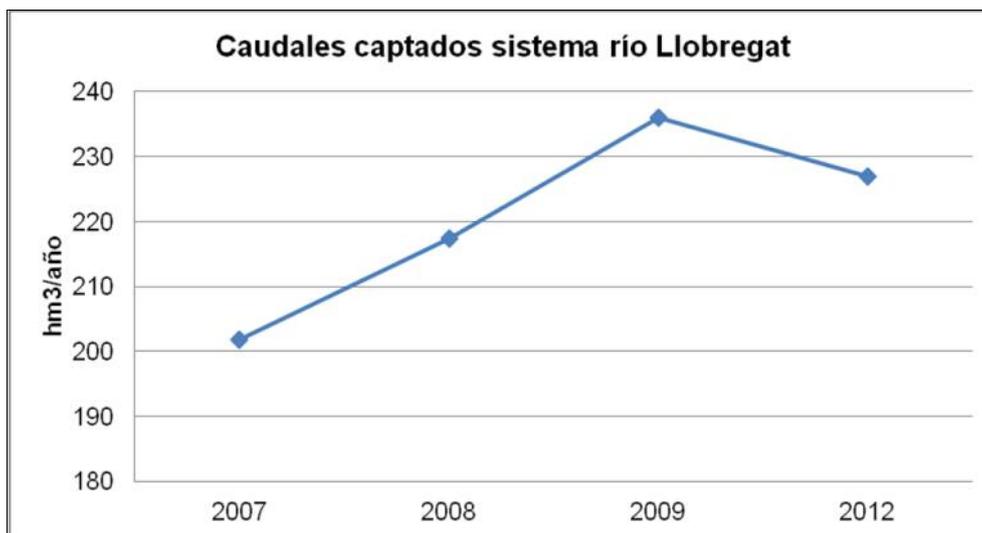


Figura 34. Caudales de captación en el sistema del río Llobregat para los diferentes años de los que se dispone información, 2007-2012.

Sin embargo el incremento anual con respecto al año anterior entre el año 2009 y 2012 es decreciente, Tabla 25.

Tabla 25. Incremento anual valor de captación en el sistema del río Llobregat.

hm <sup>3</sup> /año	Sistema Llobregat	Incremento anual
2007	201,76	
2008	217,31	7,71%
2009	235,92	8,56%
2012	226,87	-3,84%

4.5.1. Caudales captación año 2007

Los caudales de captación pueden ser clasificados en tres grandes grupos, los caudales que se captan de manera superficial y subterránea respectivamente y que sirven para garantizar la dotación municipal de abastecimiento y el caudal captado para riego.

La Tabla 26, muestra los caudales de captación según la clasificación anterior para el año 2007.

Tabla 26. Captaciones en el río Llobregat año 2007.

hm <sup>3</sup> /año	SUPERFICIAL	SUBTERRÁNEA	RIEGO
Total	128,34	45,85	27,57
Promedio	10,69	3,82	2,30
Máximo	13,74	5,01	3,46
Mínimo	7,31	2,51	1,44
Desviación Estándar	1,69	0,86	0,64
CV	16%	22%	28%

Las captaciones superficiales que en la mayor parte pertenecen a la captación de la ETAP de Abrera y de Sant Joan Despí, suponen el 63% de la captación total que se realiza en el río Llobregat en el año 2007.

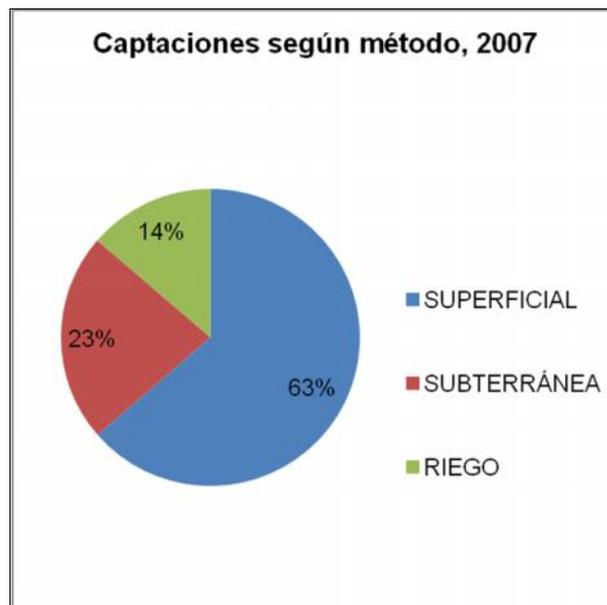


Figura 35. Diagrama de sectores según el método de extracción del agua. Año 2007.

#### 4.5.2. Caudales captación año 2008

Los caudales captados durante el año 2008, Tabla 27, se mantienen tanto en valor como en porcentaje bastante similar al año anterior, el año 2007.

Tabla 27. Captaciones en el río Llobregat año 2008.

hm <sup>3</sup> /año	SUPERFICIAL	SUBTERRÁNEA	RIEGO
Total	151,37	44,96	20,98
Promedio	12,61	3,75	1,75
Máximo	15,91	6,06	3,14
Mínimo	9,23	1,19	0,73
Desviación Std	1,97	1,56	0,84
CV	16%	42%	48%

Las captaciones superficiales suponen el 70% de la captación total que se realiza en el río Llobregat en el año 2008.

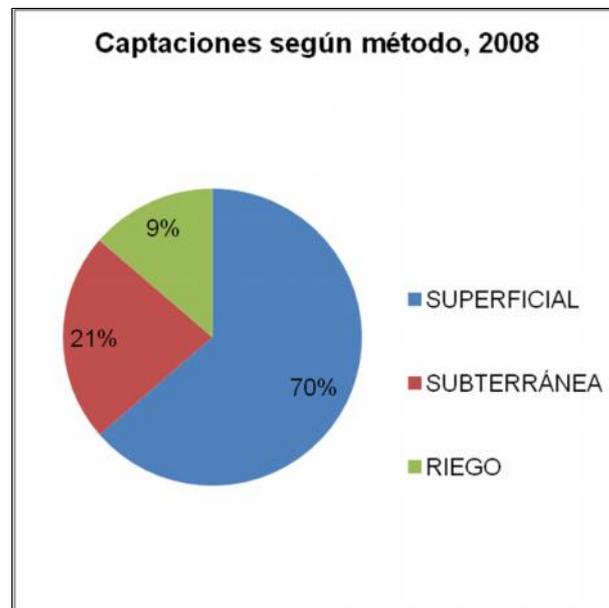


Figura 36. Diagrama de sectores según el método de extracción del agua. Año 2008.

#### 4.5.3. Caudales captación año 2012

Los caudales captados durante el año 2012, Tabla 28, se mantienen tanto en valor como en porcentaje bastante similar a los años anterior de estudio, el año 2007 y el 2008.

Tabla 28. Captaciones en el río Llobregat año 2012.

hm <sup>3</sup> /año	Superficial	Subterránea	Riego	Total
Total	154,91	35,75	36,20	226,86
Promedio	12,91	2,98	3,02	
Máximo	16,40	5,52	3,43	
Mínimo	8,67	1,47	2,56	
Desviación Std	2,43	1,19	0,32	
CV	19%	40%	11%	

Siguiendo la misma tendencia que en los años anteriores, las captaciones en porcentaje de método de extracción y uso se mantienen estables, Figura 37, el volumen de agua que se capta superficialmente para abastecimiento es el mayor de los porcentajes 68%, mientras el volumen captado de manera subterránea y el captado para riego se mantienen bastante similares, del 16%.



Figura 37. Diagrama de sectores según el método de extracción del agua. Año 2012.

#### 4.5.4. Comentarios sobre los datos

A pesar del bienio de sequía (2007-2008) y los posteriores años húmedos (2009 y 2012), el volumen de captación anual que se realiza en el río es bastante similar para cada año. Entre el año 2007 y 2012 el incremento es de un 12,45%,

Tabla 29. Incremento anual e incremento total captaciones río Llobregat. Fuente: Elaboración propia.

hm <sup>3</sup> /año	Sistema Llobregat	Incremento anual	Incremento total 2007-2012
2007	201,76		
2008	217,31	7,71%	
2009	235,92	8,56%	
2012	226,87	-3,84%	12,45%

Sin embargo el hecho de que durante los últimos años comparables, 2009 y 2012, la tendencia sea negativa puede ser la causa que explica el porqué del aumento del caudal de escorrentía en el último tramo del río que se observaba en la Figura 27 del apartado 4.3.4 anterior.

#### 4.6. CALIDAD QUÍMICA DE LAS MASAS DE AGUA EN LA CABECERA DEL RÍO LLOBREGAT. AÑO 2012.

Los datos necesarios para realizar la valoración de la aportación unitaria de sales a un volumen de 1 litro, por el mero hecho de haber sido utilizada aguas arriba de un punto por una población, y tomando como ejemplo de las sales la cantidad de cloruros [Cl<sup>-</sup>], son la concentración de cloruros que una cantidad de agua contiene antes de la captación  $C_i$  y después del vertido respectivamente  $C_{i+1}$ .

Desde el año 2007, la Agència Catalana de l'Aigua tiene operativo el Programa de Seguimiento y Control del Estado de las Masas de Agua (PSCEMA). Gracias a este instrumento se puede obtener información del estado químico y ecológico de todas las masas de agua de Catalunya, mediante datos de los mismos indicadores y parámetros para los que se han fijado los objetivos del programa.

En la actualidad se clasifican los datos recogidos, en tres informes diferentes para tres periodos de tiempo: 1) 2007-2009, 2) 2007-2010 y 3) 2007-2012.

Con el fin de conseguir una fracción del contenido de cloruros que proporcione un valor relativamente fiable en cuanto a la procedencia que se quiere estudiar, vertido de aguas residuales urbanas, el estudio se realiza en la cabecera del río Llobregat, en el tramo comprendido entre el nacimiento del río, en el término municipal de Castellar de n'Hug y el embalse de La Baells en el término municipal de Cercs, Figura 38.



Figura 38. Tramo de estudio cabecera del río Llobregat en el T.M de Castellar de n'Hug hasta el pantano de La Baells en el T.M. de Cercs. Fuente: Elaboración propia.

Es de suponer que en la parte alta del río las posibles afecciones exteriores de otro tipo de vertidos diferente al vertido procedente de efluentes de aguas residuales urbanas son escasas, y que por tanto el valor del indicador de la contaminación por sales habitante equivalente del incremento de cloruros debido a la población, es más fiable.

Para la cabecera del río Llobregat el PSCEMA, dispone de varias masas de agua de las que se tienen valores de la cantidad del ión cloruro, sin embargo para el estudio objeto de este apartado únicamente se va a tener en cuenta el primer tramo, Masa 1, de dónde obtendremos el valor de  $C_i$  y el tercer tramo, Masa 3, que nos informa del valor  $C_{i+1}$ , Figura 39.

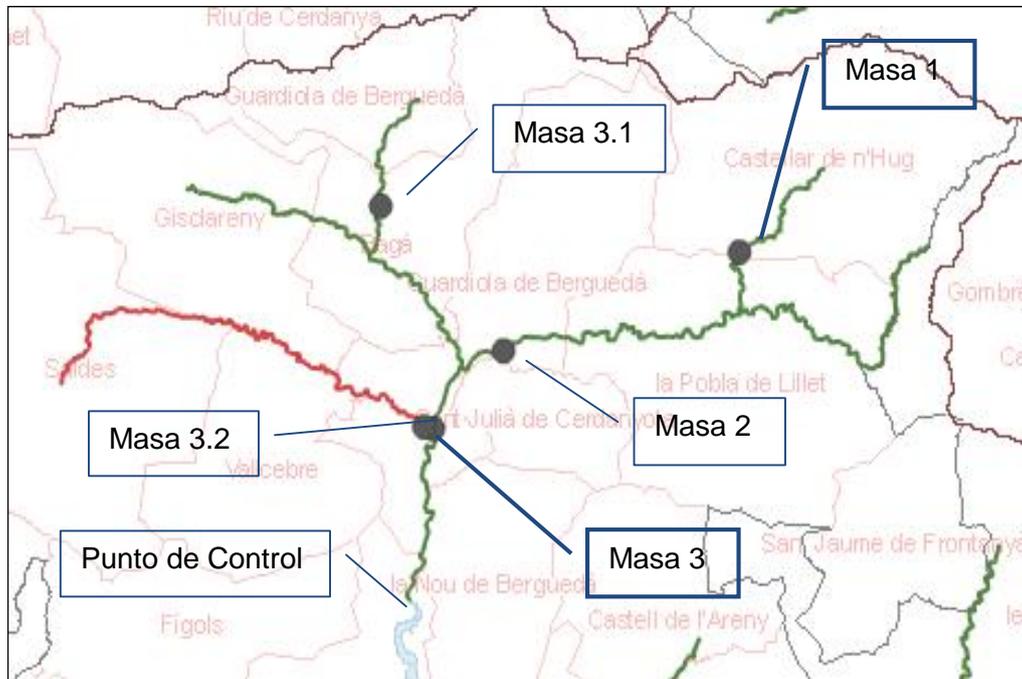


Figura 39. Zona de estudio desde la cabecera del río Llobregat hasta la cola del pantano de La Baells. Fuente: Elaboración propia.

A continuación se observa mediante las Figura 40 y Figura 41, y la ubicación y nomenclatura con que el Programa de Seguimiento y Control del Estado de las Masas de Agua denomina a cada uno de los tramos escogidos para llevar a cabo el estudio, Tabla 30.

Tabla 30. Definición de las masas de agua en la cabecera del río Llobregat.

Número de muestras	2007-2009	Puntos de muestreo
Masa 1	Cabecera Llobregat y Arija	1
Masa 3	De la confluencia del Bastareny hasta la cola del embalse de La Baells	1

Masa de agua número 1, M1:

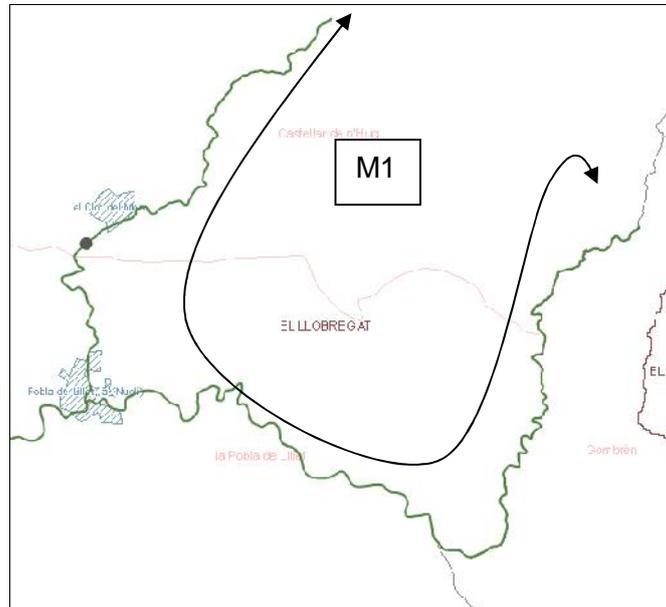


Figura 40. Cabecera del Llobregat y Arija hasta la confluencia entre los dos. Fuente: Elaboración propia.

Masa de agua número 3. M3:

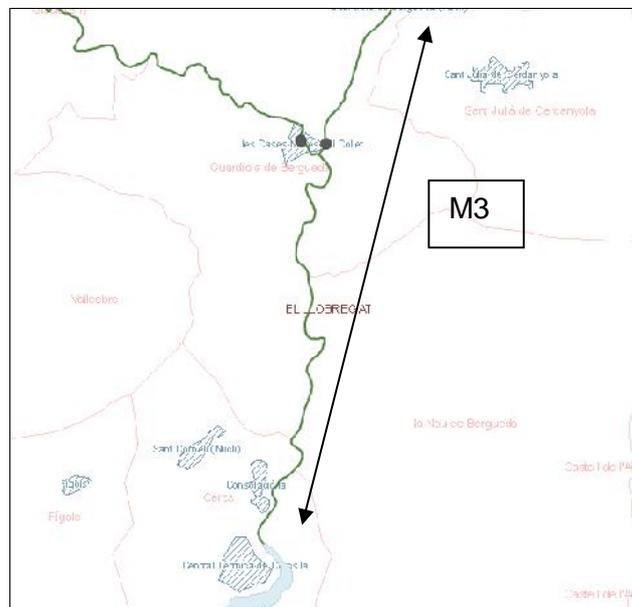


Figura 41. El Llobregat des de la confluencia del río Bastareny hasta la cola del embalse de La Baells. Fuente: Elaboración propia.

Los datos obtenidos a través del visor son los resultados de varias muestras a lo largo del tiempo recogidas en un mismo punto de muestreo en cada uno de los casos, Tabla 31.

Tabla 31. Número de muestras analizadas para cada periodo de tiempo.

Número de muestras	2007-2009	2007-2010	2007-2012	Puntos de muestreo
Masa 1	11	15	19	1
Masa 3	13	17	25	1

El valor de la concentración de iones cloruro de cada una de las masas para cada uno de los periodos de tiempo se recogen en la Tabla 32.

Tabla 32. Cantidad de cloruros en cada una de las masas de la cabecera del Río Llobregat

Cloruros (mg/l)	2007-2009	2007-2010	2007-2012
Masa 1	5,80	6,60	6,30
Masa 3	11,90	15,50	16,40

## CAPÍTULO 5

### 5. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

En los siguientes apartados se van a presentar los cálculos y valoraciones definitivas en base a los materiales y métodos explicados anteriormente.

Se establecen algunas conclusiones en base a las evidencias valoradas para cada uno de los periodos de tiempo por separado, 2007, 2008 y 2012 y finalmente se va a intentar relacionar las diferentes valoraciones entre sí, dando importancia a las similitudes y diferencias entre los distintos periodos de tiempo: el bienio de sequía y el periodo de tiempo normal.

Se recuerda que el objetivo principal del presente estudio es el de *Cuantificar el grado de reutilización potable indirecta existente en las cuencas fluviales internas de Catalunya*, con el fin de promover una percepción pública, nacional e internacional, más objetiva y favorable de la reutilización directa o planificada del agua dentro del contexto de la potabilización.

#### 5.1. PERIODO DE TIEMPO ANUAL. AÑO 2007

##### 5.1.1. Factor de dilución

Los valores del factor de dilución en cada uno de los tramos en los que se subdivide el río, para el año 2007 son los que se presentan a continuación en la Tabla 33.

Tabla 33. Factor de dilución para cada uno de los tramos del río de los que se dispone de datos de caudal. Año 2007.

2007	Aforo	Caudal aforado (m <sup>3</sup> /día)	Caudal vertido acumulado (m <sup>3</sup> /día)	Factor de dilución
1	Castellar de n'Hug	48114,83	90,00	0,19%
2	Bagà/Guardiola de Berguedà	153370,29	2122,00	1,38%
3	Balsareny	405454,71	10199,00	2,52%
4	Castellbell i el Vilar	456205,51	54861,00	12,03%
5	Sant Joan despí	391386,77	226739,00	58,07%

Como era de suponer el factor de dilución aumenta a medida que se avanza en el cauce del río. En el último tramo el factor de dilución es de casi un 60%.

El valor , nos da una idea inicial del grado de reutilización del agua que se está produciendo en el río. Si se observa el valor se puede establecer un paralelismo con el grado de reutilización final, y por lo tanto en orden de magnitud se puede anticipar que a medida que se avanza por el cauce la utilización y la reutilización aumenta, porque así lo hace el factor de dilución, sin embargo el incremento es mucho mayor para los últimos tramos de estudio, n=4 y n=5.

Mientras durante las tres primeras etapas el factor de dilución no ha superado el 3% del volumen total de escorrentía, las dos últimas y sobre todo la última etapa superan la decena.

En el tramo número 4 el afluente Cardener ya ha aportado el volumen de agua de las EDAR que vierten sobre él, pero es sin embargo en el último tramo, donde ya se tiene en cuenta los valores de los vertidos de los afluentes Anoia y la riera de Rubí, cuando el factor de dilución aumenta significativamente: un 400% con respecto al valor anterior.

El grado de reutilización del agua tendrá valores realmente significativos cuanto más cerca se encuentre una unidad de volumen de agua de la desembocadura del río Llobregat.

### 5.1.2. Grado de reutilización

A continuación se presenta en la Tabla 34, la clasificación de cada uno de los tramos en los que se subdivide el río y que resultan ser necesarios para calcular el grado de reutilización aguas arriba de cada punto de control de manera acumulativa.

Tabla 34. Clasificación de cada tramo para los que se ha de realizar el experimento objeto de este estudio. Año 2007.

Punto de Control	Tramo $n_i$	Vertido	Aforo	Caudal aforado (m <sup>3</sup> /día)	Caudal vertido acumulado (m <sup>3</sup> /día)	Alfa	1-Alfa
Castellar de n'Hug PC1	1	1	Castellar de n'Hug	48114,83	90,00	0,19%	99,81%
Guardiola de Berguedà PC2	2	1	Castellar de n'Hug	48114,83	90,00	0,19%	99,81%
		2	Guardiola de Berguedà	153370,29	2122,00	1,38%	98,62%
Balsareny PC3	3	1	Castellar de n'Hug	48114,83	90,00	0,19%	99,81%
		2	Bagà/Guardiola de Berguedà	153370,29	2122,00	1,38%	98,62%
		3	Cercs		2364,00		
		4	Berga		6387,00		
		5	Gironella		7352,00		
		6	Casserres		7491,00		
		7	Puig-Reig		8089,00		
		8	Alpens		8163,00		
		9	Prats del Lluçanes		8646,00		
		10	Mujal		8676,00		
		11	Navas		9532,00		
		12	Balsareny		405454,70	10229,00	2,52%
Castellbell i el Vilar PC4	4	1	Castellar de n'Hug	48114,83	90,00	0,19%	99,81%
		2	Bagà/Guardiola de Berguedà	153370,29	2122,00	1,38%	98,62%
		3	Cercs		2364,00		
		4	Berga		6387,00		
		5	Gironella		7352,00		
		6	Casserres		7491,00		
		7	Puig-Reig		8089,00		
		8	Alpens		8163,00		
		9	Prats del Lluçanes		8646,00		
		10	Mujal		8676,00		
		11	Navas		9532,00		
		12	Balsareny		405454,70	10229,00	2,52%

		13	Castellnou del Bagés		10337,00		
		14	Sallent/Artés		12991,00		
		15	Avinyò		13288,00		
		16	Olost		13534,00		
		17	Navarcles/Sant Fruitós/Santpedor		18287,00		
		18	El Pont de Vilomara		18730,00		
		19	Afluyente Caderner		50455,00		
		20	Moià		52533,00		
		21	Castellbell i el Vilar	456205,51	54891,00	12,03%	87,97%
Sant Joan despí PC5	5	1	Castellar de n'Hug	48114,83	90,00	0,19%	99,81%
		2	Bagà/Guardiola de Berguedà	153370,29	2122,00	1,38%	98,62%
		3	Cercs		2364,00		
		4	Berga		6387,00		
		5	Gironella		7352,00		
		6	Casserres		7491,00		
		7	Puig-Reig		8089,00		
		8	Alpens		8163,00		
		9	Prats del Lluçanes		8646,00		
		10	Mujal		8676,00		
		11	Navas		9532,00		
		12	Balsareny	405454,70	10229,00	2,52%	97,48%
		13	Castellnou del Bagés		10337,00		
		14	Sallent/Artés		12991,00		
		15	Avinyò		13288,00		
		16	Olost		13534,00		
		17	Navarcles/Sant Fruitós/Santpedor		18287,00		
		18	El Pont de Vilomara		18730,00		
		19	Afluyente Caderner		50455,00		
		20	Moià		52533,00		
		21	Castellbell i el Vilar	456205,51	54891,00	12,03%	87,97%
		22	Monistrol de Montserrat		56869,00		
		23	Abrera		72806,00		
		24	Els Casots		72833,00		
		25	Viladecavalls (Est)		74197,00		
		26	Viladecavalls (Oest)		74441,00		
		27	Martorell		81481,00		
		28	Afluyente Anoia		108949,00		
		29	Afluyente Riera de Rubí		177928,00		
		30	Corbera de Llobregat		178428,00		
		31	Sant Feliu de Llobregat		227296,00		
		32	Sant Joan despí	391386,77	227296,00	58,07%	41,93%

El proceso como ya se ha comentado anteriormente en el Apartado 4 de Materiales y Metodología es secuencial, por lo que cada tramo de estudio en el que se realiza ( $n_i$ ) ha de tener en cuenta todos y cada uno de los tramos anteriores ( $n_{i-1}$ ).

A continuación se presenta una tabla resumen con el resultado de cada uno de los experimentos ( $x_i$ ) de los que se compone el fenómeno que se estudia, *Número de veces que una unidad de volumen es reutilizada aguas arriba de un punto a medida que fluye desde la cabecera hasta la desembocadura del río*, la Tabla 35 muestra las frecuencias absolutas de los sucesos de la variable aleatoria en tanto por ciento.

Tabla 35. Frecuencias absolutas acumulativas para cada tramo de estudio. Año 2007.

$x_i$	$P(X=x_i)$	n=1	n=2	n=3	n=4	n=5	Promedio
0	$P(X=0)$	99,81%	98,43%	95,95%	84,40%	35,39%	82,80%
1	$P(X=1)$	0,19%	1,57%	4,01%	15,07%	55,34%	15,23%
2	$P(X=2)$		0,0026%	0,042%	0,52%	8,97%	2,38%
3	$P(X=3)$			0,000065%	0,0051%	0,28%	0,096%
4	$P(X=4)$				0,0000080%	0,0030%	0,0015%
5	$P(X=5)$					0,0000046%	0,0000046%

La función de densidad de la VA para cada tramo secuencialmente demuestra de una manera muy visual cómo se comporta el fenómeno, a medida que se avanza en el cauce del río, Figura 42.

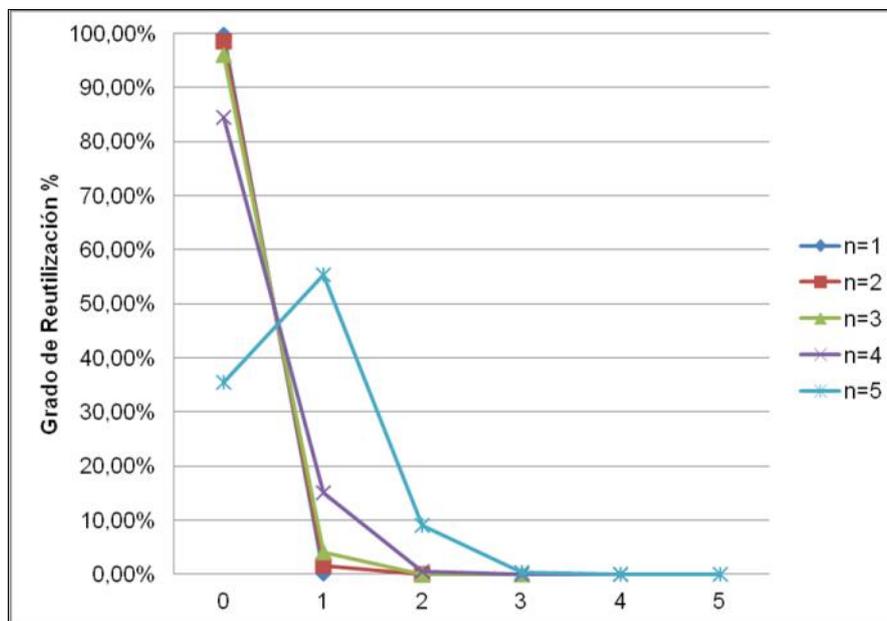


Figura 42. Función de distribución de la VA para cada tramo del proceso acumulativo. Año 2007.

La probabilidad de que la unidad de volumen de agua no sea utilizada en todo el recorrido (35,39%) del río disminuye por debajo de la probabilidad de que el agua haya sido utilizada al menos una vez (55,34%), cuando hemos recorrido la totalidad del cauce (n=5).

Hasta el tramo número 4, el volumen de agua que ha sido utilizada entre 1, 2, y 3 veces es relativamente insignificante, y se encuentra por debajo del 5%.

Otra manera de observar los resultados y que también se antoja muy intuitiva, es la representación que se muestra en la Figura 43.

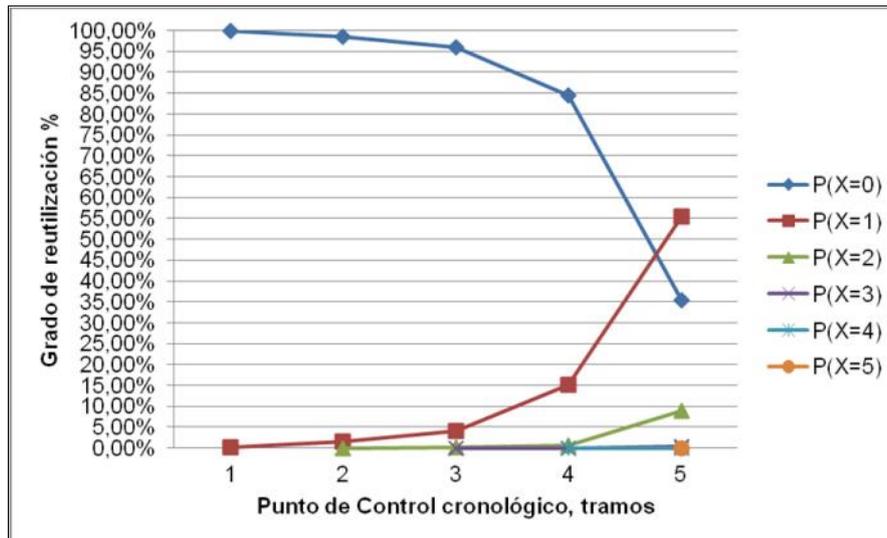


Figura 43. Evolución cronológica del grado de reutilización del agua a lo largo del cauce del río Llobregat. Año 2007.

Si se considera a cada suceso (haber utilizado el agua 0, 1, 2, 3, 4 y 5 veces) como si fuera un parámetro concreto de estudio y se supone a cada punto de control de los que se disponen datos de caudal en el río, como si fueran puntos de muestreo, al representar cronológicamente las muestras obtenidas en cada tramo, se puede interpretar el fenómeno a lo largo del cauce del río.

La probabilidad de que una unidad de volumen de agua no se utilice disminuye durante todo el recorrido, pero únicamente de manera significativa a partir del tercer tramo.

La probabilidad de haber utilizado el agua en al menos en una de las etapas durante todo el recorrido es el parámetro más común dentro de los parámetros que representan la reutilización del agua, y aumenta de manera importante también a partir del tercer tramo, incluso el grado de utilización del agua en al menos 1 ocasión cuando la unidad de volumen se encuentra en el último tramo del río, es superior a la cantidad de agua que no ha sido utilizada nunca, y así se observa en el PC5 de Figura 43.

La probabilidad de haber utilizado el agua en los 5 tramos (0,0000046%) consecutivamente es prácticamente nula, al igual que haberlo hecho en al menos 4 tramos (0,0015%).

## 5.2. PERIODO DE TIEMPO ANUAL. AÑO 2008

### 5.2.1. Factor de dilución

Los valores del factor de dilución en cada uno de los tramos en los que se subdivide el río, para el año 2008 son los que se presentan a continuación en la Tabla 36.

Tabla 36. Factor de dilución para cada uno de los tramos del río de los que se dispone de datos de caudal. Año 2008.

2008	Aforo	Caudal aforado (m <sup>3</sup> /día)	Caudal vertido acumulado (m <sup>3</sup> /día)	Factor de dilución
1	Castellar de n'Hug	86465,75	87,85	0,10%
2	Bagà/Guardiola de Berguedà	372301,37	2054,73	0,55%
3	Balsareny	580082,20	12266,33	2,11%
4	Castellbell i el Vilar	808547,95	55297,37	6,84%
5	Sant Joan despí	701479,45	221564,60	31,60%

Al igual que el año anterior el factor de dilución aumenta a medida que se avanza en el cauce del río, sin embargo a diferencia del año 2007 el valor del factor y sobre todo en el último tramo es mucho menor, alrededor de un 32%.

El factor de dilución nos da una idea inicial del grado de reutilización del agua que se está produciendo en el río. A medida que se avanza por el cauce la utilización y la reutilización aumenta, sin embargo el incremento es mucho mayor para los últimos tramos de estudio, n=4 y n=5, mientras durante las tres primeras etapas el factor de dilución no ha superado en 3% del volumen total de escorrentía, la última etapa (n=5) supera la decena y supone un 360% más que la etapa anterior (n=4), lo mismo ocurre en el año anterior, el 2007 (400%).

El grado de reutilización del agua tendrá valores realmente significativos cuanto más cerca se encuentre una unidad de volumen de agua de la desembocadura del río.

### 5.2.2. Grado de reutilización

En la Tabla 37, se muestra la clasificación de cada uno de los tramos en los que se subdivide el río y que son necesarios para calcular el grado de reutilización aguas arriba de cada punto de control de manera acumulativa.

Tabla 37. Clasificación de cada tramo para los que se ha de realizar el experimento objeto de este estudio. Año 2008.

Punto de Control	Tramo n <sub>i</sub>	Vertido	Aforo	Caudal aforado (m <sup>3</sup> /día)	Caudal vertido acumulado (m <sup>3</sup> /día)	Alfa	1-Alfa
Castellar de n'Hug PC1	1	1	Castellar de n'Hug	86465,75	87,85	0,10%	99,89%
Guardiola de Berguedà PC2	2	1	Castellar de n'Hug	86465,75	87,85	0,10%	99,89%
		2	Bagà/Guardiola de Berguedà	372301,37	2054,73	0,55%	99,44%
Balsareny PC3	3	1	Castellar de n'Hug	86465,75	87,85	0,10%	99,89%
		2	Bagà/Guardiola de Berguedà	372301,37	2054,73	0,55%	99,44%
		3	Cercs		2518,17		
		4	La nou de Berguedà		2598,17		
		5	Berga		8048,00		
		6	Gironella		9086,20		
		7	Casserres		9237,66		
		8	Puig-Reig		9883,99		
		9	Alpens		9981,39		

		10	Prats del Iluçanes		10620,98		
		11	Mujal		10650,98		
		12	Navas		11556,51		
		13	Balsareny	580082,20	12266,33	2,11%	97,88%
Castellbell i el Vilar PC4	4	1	Castellar de n'Hug	86465,75	87,85	0,10%	99,89%
		2	Bagà/Guardiola de Berguedà	372301,37	2054,73	0,55%	99,44%
		3	Cercs		2518,17		
		4	La nou de Berguedà		2598,17		
		5	Berga		8048,00		
		6	Gironella		9086,20		
		7	Casserres		9237,66		
		8	Puig-Reig		9883,99		
		9	Alpens		9981,39		
		10	Prats del Iluçanes		10620,98		
		11	Mujal		10650,98		
		12	Navas		11556,51		
		13	Balsareny	580082,20	12266,33	2,11%	97,88%
		14	Castellnou del Bagés		12373,14		
		15	Sallent/Artés		15067,12		
		16	Avinyò		15371,44		
		17	Olost		15792,68		
		18	Navarcles/Sant Fruitós/Santpedor		19782,82		
		19	El Pont de Vilomara		20296,67		
		20	Afluent Caderner		51116,25		
		21	Moià		52760,49		
		22	Castellbell i el Vilar	808547,95	55297,37	6,84%	93,16%
Sant Joan despi PC5	5	1	Castellar de n'Hug	86465,75	87,85	0,10%	99,89%
		2	Bagà/Guardiola de Berguedà	372301,37	2054,73	0,55%	99,44%
		3	Cercs		2518,17		
		4	La nou de Berguedà		2598,17		
		5	Berga		8048,00		
		6	Gironella		9086,20		
		7	Casserres		9237,66		
		8	Puig-Reig		9883,99		
		9	Alpens		9981,39		
		10	Prats del Iluçanes		10620,98		
		11	Mujal		10650,98		
		12	Navas		11556,51		
		13	Balsareny	580082,20	12266,33	2,11%	97,88%
		14	Castellnou del Bagés		12373,14		
		15	Sallent/Artés		15067,12		
		16	Avinyò		15371,44		
		17	Olost		15792,68		
		18	Navarcles/Sant Fruitós/Santpedor		19782,82		
		19	El Pont de Vilomara		20296,67		
		20	Afluent Caderner		51116,25		
		21	Moià		52760,49		
		22	Castellbell i el Vilar	808547,95	55297,37	6,84%	93,16%
		23	Monistrol de Montserrat		56951,48		
		24	Abrera		72548,34		
		25	Els Casots		72575,34		
		26	Viladecavalls (Est)		73833,46		
		27	Viladecavalls (Oest)		74069,68		

	28	Martorell		80847,25		
	29	Afluente Anoia		109468,80		
	29	Afluente Riera de Rubí		175655,20		
	31	Sant Feliu de Llobregat		221564,60		
	32	Sant Joan despí	701479,45	221564,60	31,60%	68,41%

La Tabla 38 muestra la frecuencia absoluta de los sucesos de la variable aleatoria en porcentaje.

Tabla 38. Frecuencias absolutas acumulativas para cada tramo de estudio. Año 2008.

$x_i$	$P(X=x_i)$	n=1	n=2	n=3	n=4	n=5	Promedio
0	$P(X=0)$	99,89%	99,33%	97,22%	90,57%	61,96%	89,80%
1	$P(X=1)$	0,10%	0,65%	2,73%	9,19%	34,91%	9,52%
2	$P(X=2)$		0,00055%	0,014%	0,20%	3,04%	0,81%
3	$P(X=3)$			0,000012%	0,01%	0,06%	0,02%
4	$P(X=4)$				0,00000079%	0,00031%	0,00016%
5	$P(X=5)$					0,00000025%	0,00000025%

La función de densidad de la VA para cada tramo secuencialmente demuestra de una manera muy visual cómo se comporta el fenómeno, a medida que se avanza en el cauce del río, Figura 42.

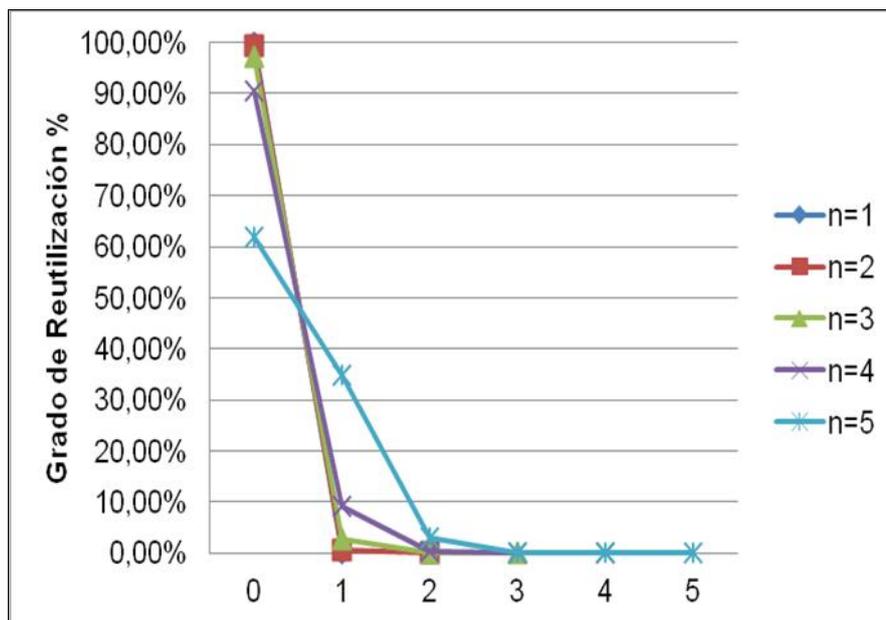


Figura 44. Función de distribución de la VA para cada tramo del proceso acumulativo. Año 2008.

A diferencia del año 2007, la probabilidad de que la unidad de volumen de agua no sea utilizada (61,96%) en todo el recorrido del río no disminuye por debajo de la probabilidad de que el agua haya sido utilizada al menos una vez (34,91%), cuando hemos recorrido la totalidad del cauce (n=5). Por lo tanto en este caso el porcentaje de agua que no se utiliza en todo el recorrido es mayor que el porcentaje de agua que se utiliza o reutiliza alguna vez,  $P(X=0) > P(X=1)$ .

Hasta el tramo número 4, el volumen de agua que ha sido utilizada entre 1, 2, y 3 veces es relativamente insignificante, y se encuentra por debajo del 3%.

Si se grafían los datos como si fueran valores de muestras recogidas cronológicamente a lo largo del río, se observa como en esta ocasión, el valor de no haber utilizado el agua nunca se encuentra por encima del valor de haber utilizado y/o reutilizado el agua alguna vez, Figura 45, las líneas de las muestras  $P(X=0)$  y  $P(X=1)$ , no se cruzan en ningún caso, al contrario de lo que ocurría en el periodo anual de 2007.

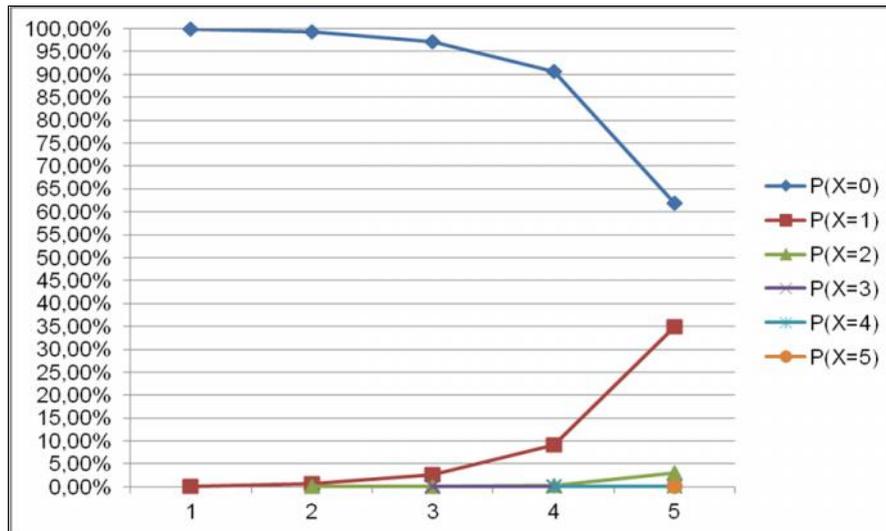


Figura 45. Evolución cronológica del grado de reutilización del agua a lo largo del cauce del río Llobregat. Año 2008.

A diferencia del año anterior, en el año 2008 la probabilidad de haber utilizado el agua 2 veces disminuye, y en valor no supera ni tan siquiera el 1% del total de la unidad de volumen de agua que discurre por el río.

### 5.3. PERIODO DE TIEMPO ANUAL. AÑO 2012

#### 5.3.1. Factor de dilución

Los valores del factor de dilución en cada uno de los tramos en los que se subdivide el río, se calculan a partir de los datos aforados para los que se dispone de series completa. Para el año 2012 no dispone de serie completa de datos aforados y únicamente se dispone de la serie de 2010 para para Castellar de n'Hug y Balsareny y de la serie del año 2013 para el resto, por lo tanto se estima el valor a partir de ellos, Tabla 39.

Tabla 39. Factor de dilución en cada uno de los tramos del río de los que se disponen datos de caudal. Año 2012.

2013	Aforo	Caudal aforado (m <sup>3</sup> /día)	Caudal vertido acumulado (m <sup>3</sup> /día)	Factor de dilución
1	Castellar de n'Hug*	102821,92 *	70,27	0,07%
2	Bagà/Guardiola de Berguedà	492493,15	2057,43	0,42%
3	Balsareny*	728904,11 *	11759,53	1,61%
4	Castellbell i el Vilar	967671,23	53731,58	5,55%
5	Sant Joan despí	991013,70	222104,72	22,41%

\* Datos de caudales del año 2010.

Siguiendo la misma tendencia que en los periodos de estudio anteriores, 2007 y 2008, el factor de dilución aumenta a medida que se avanza en el cauce del río, sin embargo a diferencia de los anteriores años el valor del factor de dilución y sobre todo en el último tramo es mucho menor, se encuentra por debajo del 23%.

El factor de dilución nos da una idea inicial del grado de reutilización del agua que se está produciendo en el río. A medida que se avanza por el cauce la utilización y la reutilización aumenta, sin embargo el incremento es mucho mayor para el último tramo, n=5. Mientras durante las tres primeras etapas el factor de dilución no ha superado en 2% del volumen total de escorrentía, la última etapa, n=5 (22,41%) supera la decena y supone un 300% más que la etapa anterior, n=4 (5,55%), lo mismo ocurre en los años anteriores. No obstante el valor de la magnitud del factor en este caso es mucho menor (22,41% frente a 58,07% y a 31,60% de los años anteriores).

### 5.3.2. Grado de reutilización

En la Tabla 40, se muestra la clasificación de cada uno de los tramos en los que se subdivide el río y que son necesarios para calcular el grado de reutilización aguas arriba de cada punto de control de manera acumulativa.

Tabla 40. Clasificación de cada tramo para los que se ha de realizar el experimento objeto de este estudio. Año 2012.

Punto de Control	Tramo n <sub>i</sub>	Vertido	Aforo	Caudal aforado (m <sup>3</sup> /día)	Caudal vertido acumulado (m <sup>3</sup> /día)	Alfa	1-Alfa
Castellar de n'Hug PC1	1	1	Castellar de n'Hug	102821,92	70,27	0,10%	99,89%
Guardiola de Berguedà PC2	2	1	Castellar de n'Hug	102821,92	70,27	0,10%	99,89%
		2	La Pobla de Lillet		281,10		
		3	Bagà/Guardiola de Berguedà	492493,15	2057,43	0,55%	99,44%
Balsareny PC3	3	1	Castellar de n'Hug	102821,92	70,27	0,10%	99,89%
		2	La Pobla de Lillet		281,10		
		3	Bagà/Guardiola de Berguedà	492493,15	2057,43	0,55%	99,44%
		4	Sant corneli de Cercs		2172,39		
		5	Cercs		2578,84		
		6	Berga		7610,11		
		7	Gironella		8647,04		

		8	Casserres		8895,16		
		9	Puig-Reig		9415,49		
		10	Alpens		9481,64		
		11	Prats del Iluçanes		9965,76		
		12	Mujal		9995,76		
		13	Navas		10964,96		
		14	Balsareny	728904,11	11789,53	2,11%	97,88%
Castellbell i el Vilar PC4	4	1	Castellar de n'Hug	102821,92	70,27	0,10%	99,89%
		2	La Pobla de Lillet		281,10		
		3	Bagà/Guardiola de Berguedà	492493,15	2057,43	0,55%	99,44%
		4	Sant corneli de Cercs		2172,39		
		5	Cercs		2578,84		
		6	Berga		7610,11		
		7	Gironella		8647,04		
		8	Casserres		8895,16		
		9	Puig-Reig		9415,49		
		10	Alpens		9481,64		
		11	Prats del Iluçanes		9965,76		
		12	Mujal		9995,76		
		13	Navas		10964,96		
		14	Balsareny	728904,11	11789,53	2,11%	97,88%
		15	Castellnou del Bagés		11882,39		
		16	Castellnou del Bagés-La Figuerola		11895,24		
		17	Sallent/Artés		14106,43		
		18	Avinyò		14406,76		
		19	Olost		14754,39		
		20	Navarcles/Sant Fruitós/Santpedor		18280,33		
		21	El Pont de Vilomara		18747,74		
		22	Afluyente Caderner		49706,24		
		23	Montví de baix		49747,25		
		24	Moià		51506,88		
		25	Castellbell i el Vilar	967671,23	53791,58	6,84%	93,16%
Sant Joan despí PC5	5	1	Castellar de n'Hug	102821,92	70,27	0,10%	99,89%
		2	La Pobla de Lillet		281,10		
		3	Bagà/Guardiola de Berguedà	492493,15	2057,43	0,55%	99,44%
		4	Sant corneli de Cercs		2172,39		
		5	Cercs		2578,84		
		6	Berga		7610,11		
		7	Gironella		8647,04		
		8	Casserres		8895,16		
		9	Puig-Reig		9415,49		
		10	Alpens		9481,64		
		11	Prats del Iluçanes		9965,76		
		12	Mujal		9995,76		
		13	Navas		10964,96		
		14	Balsareny	728904,11	11789,53	2,11%	97,88%
		15	Castellnou del Bagés		11882,39		
		16	Castellnou del Bagés-La Figuerola		11895,24		
		17	Sallent/Artés		14106,43		
		18	Avinyò		14406,76		
		19	Olost		14754,39		
		20	Navarcles/Sant Fruitós/Santpedor		18280,33		
		21	El Pont de Vilomara		18747,74		
		22	Afluyente Caderner		49706,24		

23	Montví de baix		49747,25		
24	Moià		51506,88		
25	Castellbell i el Vilar	967671,23	53791,58	6,84%	93,16%
26	Monistrol de Montserrat		55855,73		
27	Abreia		70431,10		
28	Els Casots		70458,10		
29	Viladecavalls (Est)		71877,03		
30	Viladecavalls (Oest)		72167,26		
31	Martorell		79121,68		
32	Lledoner		79179,55		
33	Afluente Anoia		114394,36		
34	Afluente Riera de Rubí		176366,29		
35	Corbera de Llobregat		176866,29		
36	Sant Feliu de Llobregat		222839,72		
37	Sant Joan despí	991013,7	222839,72		

La Tabla 41 muestra la frecuencia absoluta de los sucesos de la variable aleatoria en porcentaje.

Tabla 41. Frecuencias absolutas acumulativas para cada tramo de estudio. Año 2012.

$x_i$	$P(X=x_i)$	n=1	n=2	n=3	n=4	n=5	Promedio
0	$P(X=0)$	99,93%	99,51%	97,91%	92,47%	71,75%	92,31%
1	$P(X=1)$	0,07%	0,49%	2,08%	7,40%	26,47%	7,30%
2	$P(X=2)$		0,00029%	0,0082%	0,12%	1,75%	0,79%
3	$P(X=3)$			0,0000047%	0,0051%	0,026%	0,01%
4	$P(X=4)$				0,00000026%	0,00010%	0,000052%
5	$P(X=5)$					0,000000059%	0,000000059%

La función de densidad de la VA para cada tramo secuencialmente demuestra de una manera muy visual cómo se comporta el fenómeno, a medida que se avanza en el cauce del río, Figura 46.

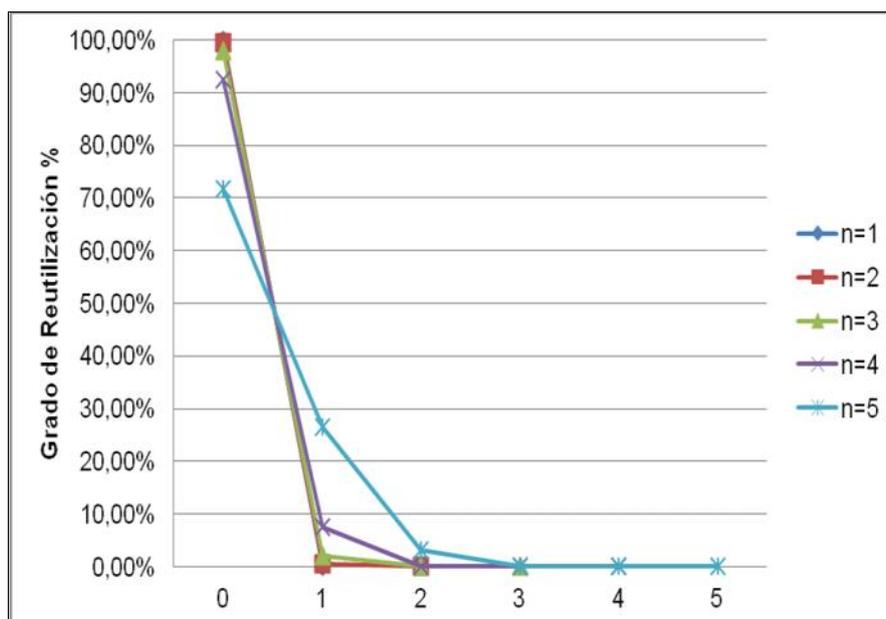


Figura 46. Función de distribución de la VA para cada tramo del proceso acumulativo. Año 2012.

A diferencia del año 2007 pero de manera similar al año 2008, la probabilidad de que la unidad de volumen de agua no sea utilizada en todo el recorrido del río (71,75%) es bastante superior a la probabilidad de que el agua haya sido utilizada al menos una vez (26,47%), cuando hemos recorrido la totalidad del cauce (n=5).

En promedio el 93% de la unidad de volumen que recorre el río no ha sido utilizada en ninguna de las etapas de las que se ha realizado la subdivisión del cauce.

Hasta el tramo número 4, el volumen de agua que ha sido utilizada entre 1, 2, y 3 veces es relativamente insignificante, y se encuentra por debajo del 3%.

Si se grafían los datos como si fueran valores de muestras recogidas cronológicamente a lo largo del río, se observa como en esta ocasión, el valor de no haber utilizado el agua nunca se encuentra por encima del valor de haber utilizado y/o reutilizado el agua alguna vez, Figura 47, las líneas de las muestras  $P(X=0)$  y  $P(X=1)$ , no se cruzan en ningún caso, al contrario de lo que ocurría en el periodo anual de 2007, pero de la misma manera que ocurre en el periodo anual de 2008.

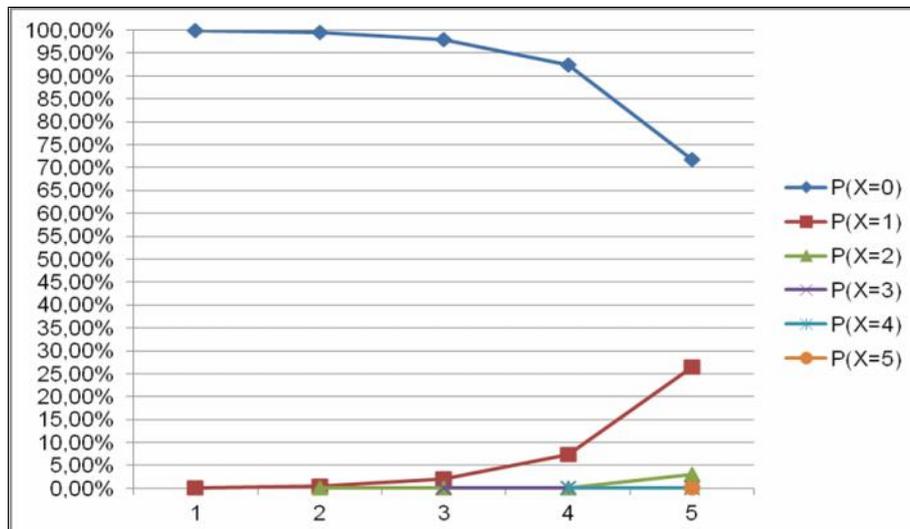


Figura 47. Evolución cronológica del grado de reutilización del agua a lo largo del cauce del río Llobregat. Año 2012.

#### 5.4. COMENTARIOS DE LOS RESULTADOS

Si se comparan los factores de dilución para los diferentes periodos de tiempo, se observa claramente como el factor de dilución crece a medida que el periodo de estudio coincide con un periodo de tiempo de sequía, Figura 48.

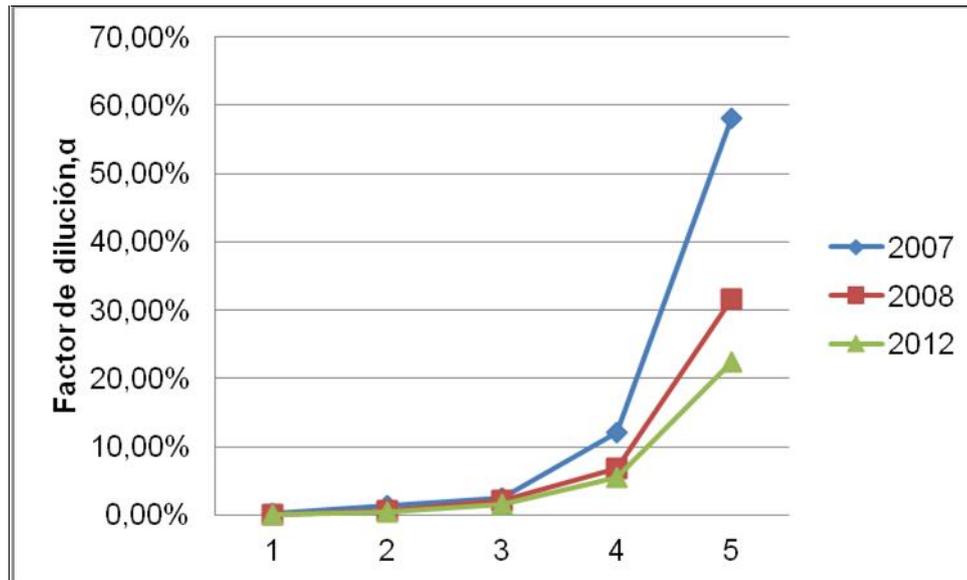


Figura 48. Factor de dilución,  $\alpha$  para los diferentes periodos de tiempo de estudio. 2007, 2008 y 2012.

Las frecuencias absolutas para los diferentes periodos de tiempo de estudio, 2007, 2008 y 2013 para el último tramo de estudio acumulativo, permite establecer conclusiones respecto a cómo influye el efecto de la sequía al grado de reutilización del agua, Tabla 42.

Tabla 42 Probabilidades de que una unidad de volumen haya sido utilizada 5, 4, 3, 2, 1 y 0 veces.

P(X=x <sub>i</sub> )	2007	2008	2013	Promedio
0	35,39%	61,96%	71,75%	56,44%
1	55,34%	34,91%	26,47%	38,85%
2	8,97%	3,04%	1,75%	4,57%
3	0,28%	0,06%	0,03%	0,15%
4	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
5	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%

Siguiendo el criterio del factor de dilución, el grado de reutilización que una unidad de volumen de agua experimenta a medida que fluye por el cauce del río Llobregat desde la cabecera hasta la desembocadura, es mayor en cuanto menor sea el caudal de escorrentía, por lo que para el bienio de sequía el grado de reutilización potable indirecta es mayor que para el periodo de tiempo normal, Figura 49.

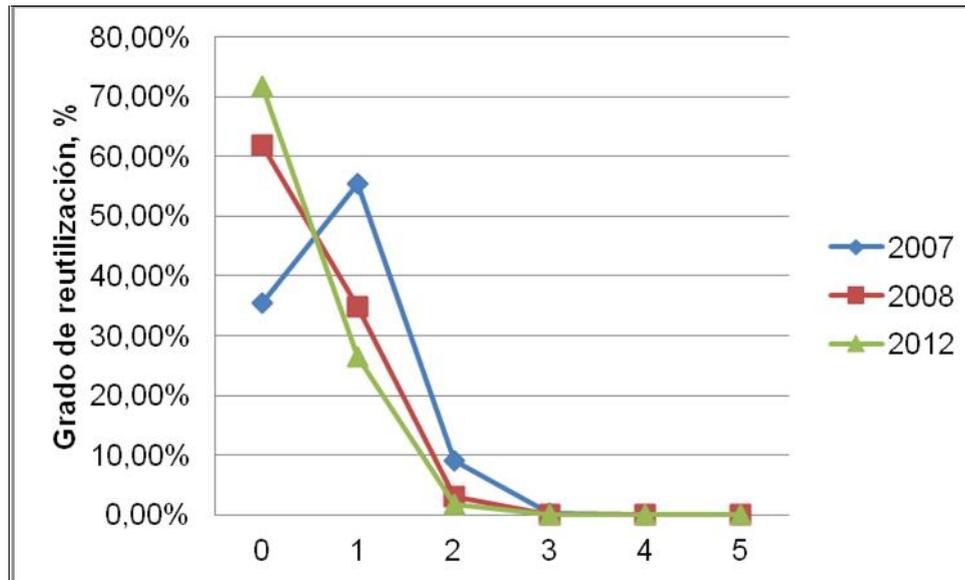


Figura 49. Frecuencia Absoluta del número de veces que se ha utilizado 1 ud de volumen de agua para diferentes periodos de tiempo, 2007 y 2008, bienio de sequía y 2012, episodio normal.

### 5.5. INDICADOR DE LA CONTAMINACIÓN

Los caudales de escorrentía que se utilizan para realizar el balance de masas en la cabecera del río Llobregat son los correspondientes a las dos estaciones de aforo situadas aguas arriba del embalse de La Baells: 1) la estación de Castellar de n'Hug en la cabecera del río y 2) la estación de Guardiola de Berguedà, previa a la cola del embalse, Tabla 43.

Tabla 43. Caudal aforado. Periodo de tiempo 2007-2013.

Punto de Aforo, m <sup>3</sup> /día	2007	2008	2013
Castellar de n'Hug	48114,83	86467,11	102810,62
Guardiola de Berguedà	153370,29	372296,65	492616,99

El primer punto de aforo está situado aguas arriba de la población en el T.M. de Castellar de n'Hug y el segundo está situado aguas abajo de las poblaciones de la cabecera del río: Castellar de n'Hug, La Pobla de Lillet, Bagà y Guardiola de Berguedà.

La cantidad de cloruros de las masas de aguas, M1 y M3, para los periodos de tiempo de los que se necesita se recogen en la Tabla 44.

Tabla 44. Cantidad de cloruros en cada una de las masas de la cabecera del Río Llobregat.

Cloruros (mg/l)	2007-2009	2007-2012
Masa 1	5,80	6,30
Masa 3	11,90	16,40

Por último los datos del caudal de los efluentes de las EDAR que se sitúan en la cabecera del río Llobregat para el periodo de tiempo entre el año 2007 y 2012, se presentan en la Tabla 45.

Tabla 45. Caudales vertidos procedente EDAR.

Q medio m <sup>3</sup> /día	2007	2008	2012
Castellar de n'Hug	90	87,85	70,27
La Pobla de Lillet	-	-	210,84
Bagà/Guardiola de Berguedà	2032	1966,89	1776,33
Total	2122	2054,74	2057,44

De la Ecuación 6,

Tabla 46. Incremento de la concentración de cloruros debido al uso urbano aguas arriba del río Llobregat. 2007-2012.

$\Delta C_i$ , mg/l	2007	2008	2012
Cabecera río Llobregat	728,58	1912,08	3611,87

De la Ecuación 7, y suponiendo una dotación media de  $Q_U = 100 \frac{l}{hab \cdot día}$ ,

Tabla 47. Indicador habitante equivalente de la contaminación debido al uso urbano. 2007-2012.

I , mg/hab·día	2007	2008	2012
Cabecera río Llobregat	72858	191208	361187

## CAPÍTULO 6

### 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Desde el comienzo del estudio, se viene haciendo mención al objetivo principal de la presente tesina, *Cuantificar el grado de reutilización potable indirecta (RPI), existente en las cuencas internas de Catalunya*. Se realiza el estudio para el río Llobregat (156,5 km) por ser el río más representativo de los que forman parte del distrito de cuenca hidrográfica o fluvial de Catalunya (DCFC). Para ello principalmente se hace una valoración porcentual del grado de reutilización de una unidad de volumen de agua (1 litro, 1 metro cúbico, etc) desde la cabecera hasta la desembocadura del río, a través del factor de dilución de los vertidos de estaciones depuradoras de aguas residuales, aguas arriba de uno o varios puntos de aforo situados a lo largo del cauce.

Paralelamente al estudio principal y con el fin de establecer una causa directa de la contaminación que se le añade a un litro de agua por el mero hecho de haber sido utilizado por un uso urbano aguas arriba de un punto, se realiza una estimación de la cantidad de iones cloruro (mg) que un habitante equivalente aporta al día a partir de una dotación dada.

Los resultados obtenidos en el estudio realizado han permitido obtener las conclusiones que aparecen a continuación:

1. El factor de dilución  $D$ , definido como el cociente entre el caudal efluente de estaciones depuradoras de aguas residuales y el caudal aforado en un punto situado aguas abajo de los vertidos, resulta válido para el análisis llevado a cabo, ya que por sí solo refleja la existencia de la reutilización indirecta que ocurre en el cauce del río.
2. El factor de dilución aumenta a medida que se avanza en el recorrido del agua por el cauce del río.
3. El aumento del factor se considera significativo para el tramo final. El orden de magnitud del incremento entre el km 90 y el km 130 (etapa nº 4 y el nº5) se encuentra entre 300 y 400%.
4. El factor  $D$ , aumenta a medida que el volumen de escorrentía disminuye, por lo que para episodios de sequía temporales o plurianuales el grado de reutilización del agua que circula por el cauce de un río aumenta considerablemente. En el caso concreto de estudio el factor  $D$ , para el año 2007 (58,07%), el peor año de sequía, es 2,60 veces mayor que el factor para el año 2012 (22,41%), considerado un año normal.
5. Para el año 2007, incluido dentro del bienio de sequía 2007-2008, el grado de reutilización para el último tramo de estudio en el km 130 aproximadamente del río es mayor que el grado o porcentaje de agua que no ha sido utilizada anteriormente, 64,60% > 35,34%. Resulta más probable haber utilizado el agua en alguna ocasión que no haberla utilizado.
6. Para el año 2008, incluido dentro del bienio de sequía 2007-2008, el grado de reutilización para el último tramo de estudio (km 130) del río es menor que el grado o porcentaje de agua que no ha sido utilizada, 38,04% < 61,96%. Resulta más probable no haber utilizado el agua en alguna ocasión que haberla utilizado.
7. Para el año 2012, considerado un periodo de tiempo normal, el grado de reutilización para el último tramo de estudio (km 130) del río es menor que el grado o porcentaje de agua que no ha sido utilizada 28,25% < 71,75%.

8. El promedio de haber utilizado el agua en el río Llobregat al menos durante alguna de las etapas de las que se compone el estudio es del 40%, un porcentaje de casi la mitad del volumen de escorrentía.
9. El grado de reutilización se puede considerar despreciable hasta el kilómetro 60 aproximadamente del cauce principal del río (tercera etapa), para los años 2008 y 2012, sin embargo para el año 2007 (el de la menor pluviometría de los tres) el grado de reutilización sólo se puede despreciar durante los 5-10 primeros kilómetros (primera etapa).
10. Zonas o países con acusados déficits temporales, regionales o plurianuales, como en la península de España, han de dar a conocer y concienciar de que la reutilización potable indirecta existe y es mayor en cuanto mayor es el déficit hídrico.
11. Teniendo en cuenta que el porcentaje de captaciones para el abastecimiento de la población del área metropolitana de Barcelona, que proviene del sistema del río Llobregat es de más del 40% del total, y que el promedio de haber utilizado y/o reutilizado el agua en al menos una ocasión es de casi un 45%, el planteamiento de la reutilización planificada debe estar más que justificado, con el fin de recuperar un volumen que en ocasiones y si está sometido a una regeneración avanzada, posee unas características desde el punto de vista sanitario y ambiental que en muchas ocasiones pueden equipararse a las características de un agua prepotable.
12. El indicador de la contaminación  $I$  definido como la cantidad de mg/hab·día de iones cloruro que se le añaden al agua por el mero hecho de haberla utilizado, aumenta a medida que aumenta el caudal de escorrentía del río. El valor promedio es de 200 gr/hab·día.
13. Este parámetro, El indicador de la contaminación  $I$ , debe servir para establecer futuras relaciones directas de la contaminación en etapas posteriores del río donde los usos aguas arriba de las secciones de control no sólo se sucedan por el uso urbano.

Con el fin de completar el estudio, se va a llevar a cabo en el futuro un estudio más generalizado donde a parte de la cuenca fluvial del río Llobregat intervengan otros ríos de los que forman parte de las cuencas internas de Catalunya. En tal caso lo que se pretende es dibujar un espectro que relacione la zona en la que se ubica un río con el grado de reutilización que se produce y en qué medida afecta a la población situada en la cabecera, en el transcurso o en la desembocadura de los mismos.

Las simplificaciones llevadas a cabo a causa de la falta de datos de los que no se dispone información como por ejemplo, la totalidad de los vertidos que se producen a lo largo del río Llobregat es un punto a tener en cuenta para futuras ampliaciones del estudio iniciado en esta tesina.

El grado de reutilización final que se pueda obtener teniendo en cuenta un censo completo de vertidos, debe ser mucho mayor. En ese posible caso incluso podría realizarse una distinción entre el grado de reutilización y el uso previo al que se ha sometida la unidad de volumen estudiada (urbano, industrial, etc.).

## CAPÍTULO 7

### 7. REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA

Consorci Costa Brava CCB (en línea). Girona: <<http://www.ccbgi.org/>>, acceso enero 2014.

Agència Catalana de l'Aigua ACA (en línea). Barcelona: <<https://aca-web.gencat.cat/>>.

Àrea Metropolitana de Barcelona AMB (en línea). Barcelona: <<http://www.amb.cat/>>, acceso diciembre 2013.

Aigües de Barcelona (en línea). Madrid: <<http://www.aigüesdebarcelona.cat/>>, acceso diciembre 2013.

Asociación Española de Reutilización Sostenible del Agua ASERSA (en línea). Barcelona: <<http://www.asersagua.es>>, acceso diciembre 2013.

Sustainable Solution for a thirsty planet (en línea). Alejandría: <<http://http://www.athirstyplanet.com/>>, acceso diciembre 2013.

WaterReuse Association (en línea). Alejandría: <<http://http://www.watereuse.org/association>>, acceso diciembre 2013.

Consortio de Aguas (2006) "Ciclos del Agua," Consorcio para el Abastecimiento de Agua y Saneamiento en el Principado de Asturias, acceso febrero 2014, <<http://www.consortioaa.com/cmscaa/opencms/CAA/el-agua/ciclo-del-uso-del-agua.htm>>.

WWAP (2006) "2º Informe de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos en el Mundo, El agua una responsabilidad compartida," Naciones Unidas, acceso enero 2014, <<http://unesdoc.unesco.org/images/0014/001444/144409s.pdf>>.

ONU (2014) "Gestión Integrada de Recursos Hídricos," Naciones Unidas, acceso enero 2014 <<http://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/iwrm.shtml>>.

AGBAR (2014) "Territori," Aigües de Barcelona, acceso febrero 2014 <<http://www.aiguesdebarcelona.cat/ca/el-territori>>.

Generalitat de Catalunya (2014) "Comunicat de premsa," Departament de Territori i Sostenibilitat, acceso marzo 2014, <[http://premsa.gencat.cat/pres\\_fsvp/docs/2014/01/22/09/10/5f5debe2-29df-44a6-81d3-44137803fa33.pdf](http://premsa.gencat.cat/pres_fsvp/docs/2014/01/22/09/10/5f5debe2-29df-44a6-81d3-44137803fa33.pdf)>.

Sustainable Solutions for a Thirsty Planet (2014) "History," Water Reuse Association, acceso enero 2014, <[www.athirstyplanet.com/be\\_informed/what\\_is\\_water\\_reuse/history](http://www.athirstyplanet.com/be_informed/what_is_water_reuse/history)>.

Magrama (2009), "Plan Nacional de Reutilización de Agua," Ministerio de Agricultura y Medio Ambiente, acceso diciembre 2013, <[http://www.magrama.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/participacion-publica/PP\\_2009P006.aspx](http://www.magrama.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/participacion-publica/PP_2009P006.aspx)>.

Veolia Water Technology (2014), "Reutilización de agua para la industria," Veolia, acceso abril 2014, <<http://www.veoliawaterst.es/vwst-iberica/ressources/documents/1/6286,Regeneraci%C3%B3n-de-Aguas-para-la-Indus.pdf>>.

Yagüe, J (2011) "Water reuse to rise significantly in Spain," *World Water: Water Reuse & Desalination.*, 13-14.

Sanz Ataz, J. (2012) "De regeneración básica a regeneración avanzada: Tecnología y calidad del agua regenerada," Veolia Water Solutions and Technologies.

WRF 09-01 (2012) "Effect of prior knowledge of unplanned potable reuse on the acceptance of planned potable reuse," WaterReuse Research Foundation.

Lahnstenier, J., y Lempert, G (2007) "Water management in Windhoek, Namibia," *Water Science & Technology.*, Vol. 55 No 1-2 pp 441-448

Cotruvo, J (2014) "Direct potable reuse Then and now," *Water Reuse & Desalination.*, 2º Informe de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos en el Mundo (2006).

AMB (2012) *Dades ambientals metropolitanas 2012*. Cicle de l'aigua 29, Àrea Metropolitana de Barcelona, Barcelona.

Melgarejo, J. (2009), "Efectos ambientales y económicos de la reutilización del agua en España." *Cim.economía.*, Núm. 15, pp.245-270.

Mujeriego, R y Peters, K. (2008) "Process reliability and significance of reclaimed water quality parameters," *Water Science & Technology-WST*, 57.5.

Mujeriego, R. (2013) "Reutilización del agua y gestión integrada de los recursos hídricos, aspectos conceptuales, técnicos, reglamentarios y de gestión," XXXI Curso Sobre Tratamiento de Aguas Residuales y Explotación de Estaciones epuradoras. CEDEX Madrid, noviembre 2013.

Mujeriego, R. (2005) "La fiabilidad de los procesos de regeneración del agua," II Jornadas Técnicas de Gestión de Estaciones Depuradoras de Aguas Residuales, Agencia Catalana del Agua, Generalitat de Catalunya, Barcelona, enero 2005.

Generalitat de Catalunya. Departament de Medi Ambient i Habitatge (2010) *Actuacions destacades en matèria de reutilització. La barrera hidràulica contra la intrusió marina i la recàrrega artificial de l'aqüífer del Llobregat*. Agència Catalana de l'Aigua. Barcelona.

U.S. EPA y U.S. AID (2012) *Guidelines for Water Reuse*, EPA/625/R-04/108, U.S. Environmental Protection Agency and U.S. Agency for International Development, Washington, DC.

ACA (2010) *Pla de gestió del districte fluvial de conques de Catalunya (PGDCFC) de 2010*, Agència Catalana de l'Aigua, Decreto 188/2010. Núm. 5764. Generalitat de Catalunya, 23 noviembre 2010, Barcelona.

ACA (2009) *Programa de Reutilització de l'Aigua de Catalunya, juny 2009*, Agència Catalana de l'Aigua, Documento sometido a información pública, según DOGC n.º 5428. Generalitat de Catalunya, 24 julio 2009, Barcelona.

Comunidad Autónoma de las Islas Baleares (2013) *Plan Hidrológico de las Islas Baleares, 2013*, Departament de Medi Ambient i Habitatge (2010), Mallorca, España.

España. Real Decreto 1620/2007, de 7 de diciembre, por el que se establece el régimen jurídico de la reutilización de las aguas depuradas. *Boletín Oficial del Estado*, 8 de diciembre de 2007, núm. 294, pp. 50639-50661.

## **CAPÍTULO 8**

### **8. ANEXOS**

**ANEXO I. REAL DECRETO 1620/2007. RÉGIMEN JURÍDICO DE LA REUTILIZACIÓN DEL AGUA**

**ANEXO II****Métodos de análisis**

Grado Brix: EN 12143 (1996). IFU n.º 8.  
 Acidez total: EN 12147 (1996). IFU n.º 3.  
 Fructosa: EN 1140 (1994). IFU n.º 55. EN 12630 (1999).  
 IFU n.º 67.  
 Glucosa: EN 1140 (1994). IFU n.º 55. EN 12630 (1999).  
 IFU n.º 67.  
 Sacarosa: EN 12146 (1994). IFU n.º 56. EN 12630 (1999).  
 IFU n.º 67.  
 Ácido cítrico: EN 1137 (1994). IFU n.º 22.  
 Ácido D-isocítrico: EN 1139 (1994). IFU n.º 54.  
 Densidad relativa 20/20.º: EN 1131 (1994). IFU n.º 1. IFU  
 n.º 1A  
 Índice de formol: EN 1133 (1994). IFU 30.  
 Cenizas: EN 1135 (1994). IFU n.º 9.  
 Fósforo: EN 1136 (1994). IFU n.º 50.  
 Potasio: EN 1134 (1994). IFU n.º 33.  
 Sorbitol: EN 12630 (1998) IFU n.º 67. IFU n.º 62.  
 Ácido D-málico: EN 12138 (1997). IFU n.º 64.  
 Ácido L-málico: EN 1138. IFU n.º 21.  
 Ácido ascórbico: EN 14130. Vitamina C (ácido ascór-  
 bico + Ácido dehidroascórbico). IFU 17-A.

Parámetros isotópicos:

$\delta^{18}$  O agua: EN V 12141 (1997).  
 (D/H)1 Etanol 2H-NMR: AOAC 995.17 (1999).  
 $\delta^{13}$  C azúcar: EN V 12140 (1997).  
 $\delta^{13}$  C etanol: J. AOAC Vol 79, n.º 1 (1996).  
 $\delta^{13}$  C pulpa: EN V 13070 (2001).  
 $\delta^{13}$  C ácidos: Anal. Chim. Acta 299 (1994).

**MINISTERIO DE LA PRESIDENCIA**

**21092** REAL DECRETO 1620/2007, de 7 de diciembre,  
 por el que se establece el régimen jurídico de  
 la reutilización de las aguas depuradas.

La Ley 11/2005, de 22 de junio, por la que se modifica la Ley 10/2001, de 5 de julio, del Plan Hidrológico Nacional, contiene una modificación del texto refundido de la Ley de Aguas, aprobado por el Real Decreto Legislativo 1/2001, de 20 de julio, en la que se ha dado nueva redacción del artículo 109.1 «el Gobierno establecerá las condiciones básicas para la reutilización de las aguas, precisando la calidad exigible a las aguas depuradas según los usos previstos. El titular de la concesión o autorización deberá sufragar los costes necesarios para adecuar la reutilización de las aguas a las exigencias de calidad vigentes en cada momento».

Se mantiene, sin modificación, el apartado 2 del artículo 109, en el que se recoge la obligación de obtener concesión administrativa que quedará sustituida por una autorización cuando quien solicite el aprovechamiento de las aguas depuradas sea el titular de la autorización de vertido que dio lugar a la depuración de dichas aguas.

Se completa la modificación del artículo 109 con la supresión de los apartados 3, 4 y 5 del precepto.

Este profundo cambio legislativo exige adaptar los artículos del Reglamento del Dominio Público Hidráulico, aprobado por el Real Decreto 849/1986, de 11 de abril, dedicados a la reutilización.

Este real decreto se inscribe, además, en el mandato que el artículo 19.2 de la Ley 14/1986, de 25 de abril, General de Sanidad, impone a las autoridades sanitarias de participar en la elaboración y ejecución de la legislación sobre aguas, por lo que en su articulado prevé su intervención en aquellos aspectos de la reutilización de aguas no contemplados en las especificaciones técnicas y que podrían suponer un riesgo para la salud de los ciudadanos. Con el real decreto, se cumple también con el objetivo general previsto en la mencionada Ley General de Sanidad, sobre la necesaria participación de las Administraciones competentes en este ámbito mediante la vigilancia sanitaria, la promoción y la mejora de los sistemas que permiten alcanzar parámetros de calidad de aguas compatibles con la salud de la población.

Se hace preciso establecer una regulación reglamentaria más completa y detallada que posibilite las soluciones necesarias respecto de la reutilización. De este modo, se define el concepto de reutilización y se introduce la denominación de aguas regeneradas, más acorde con las posibilidades de reutilización que la norma establece y ampliamente admitida en la doctrina técnica y jurídica. Se determinan los requisitos necesarios para llevar a cabo la actividad de utilización de aguas regeneradas, los procedimientos para obtener la concesión exigida en la ley así como disposiciones relativas a los usos admitidos y exigencias de calidad precisas en cada caso.

Finalmente, debe destacarse la incorporación de dos anexos; el anexo I recoge los criterios de calidad para la utilización de las aguas regeneradas según los usos. Estos criterios tendrán la consideración de mínimos obligatorios exigibles. Por su parte el anexo II contiene el modelo normalizado de solicitud que deben presentar quienes deseen obtener la concesión o autorización de reutilización de aguas depuradas.

Este real decreto deroga, con carácter general, cuantas disposiciones de igual o inferior rango se opongan a lo en él dispuesto y, en particular, los artículos 272 y 273 del Reglamento del Dominio Público Hidráulico.

En el procedimiento de elaboración de esta norma se ha consultado a las comunidades autónomas, a las entidades locales y al Consejo Nacional del Agua.

Debe significarse que aunque el Tribunal Constitucional ha exceptuado de regulación mediante normas reglamentarias las condiciones básicas en una determinada materia, también ha señalado que esta excepción no es absoluta, pudiendo regularse reglamentariamente aquellas materias que por su carácter técnico o coyuntural, como es el caso, hacen imposible una determinación ex lege de sus requisitos básicos.

En su virtud, a propuesta de los Ministros de Medio Ambiente, de Agricultura, Pesca y Alimentación y de Sanidad y Consumo, con la aprobación previa de la Ministra de Administraciones Públicas, de acuerdo con el Consejo de Estado y previa deliberación del Consejo de Ministros en su reunión del día 7 de diciembre de 2007,

**DISPONGO:**

**CAPÍTULO I****Disposiciones generales**

Artículo 1. *Objeto.*

Este real decreto tiene por objeto establecer el régimen jurídico para la reutilización de las aguas depuradas, de acuerdo con el artículo 109.1 del texto refundido de la Ley de Aguas, aprobado por el Real Decreto Legislativo 1/2001, de 20 de julio.

## Artículo 2. *Definiciones.*

A los efectos de este real decreto se entiende por:

a) Reutilización de las aguas: aplicación, antes de su devolución al dominio público hidráulico y al marítimo terrestre para un nuevo uso privativo de las aguas que, habiendo sido utilizadas por quien las derivó, se han sometido al proceso o procesos de depuración establecidos en la correspondiente autorización de vertido y a los necesarios para alcanzar la calidad requerida en función de los usos a que se van a destinar.

b) Aguas depuradas: aguas residuales que han sido sometidas a un proceso de tratamiento que permita adecuar su calidad a la normativa de vertidos aplicable.

c) Aguas regeneradas: aguas residuales depuradas que, en su caso, han sido sometidas a un proceso de tratamiento adicional o complementario que permite adecuar su calidad al uso al que se destinan.

d) Estación regeneradora de aguas: conjunto de instalaciones donde las aguas residuales depuradas se someten a procesos de tratamiento adicional que puedan ser necesarios para adecuar su calidad al uso previsto.

e) Infraestructuras de almacenamiento y distribución: conjunto de instalaciones destinadas a almacenar y distribuir el agua regenerada hasta el lugar de uso por medio de una red o bien depósitos móviles públicos y privados.

f) Sistema de reutilización de las aguas: conjunto de instalaciones que incluye la estación regeneradora de aguas, en su caso, y las infraestructuras de almacenamiento y distribución de las aguas regeneradas hasta el punto de entrega a los usuarios, con la dotación y calidad definidas según los usos previstos.

g) Primer usuario: persona física o jurídica que ostenta la concesión para la primera utilización de las aguas derivadas.

h) Usuario del agua regenerada: persona física o jurídica o entidad pública o privada que utiliza el agua regenerada para el uso previsto.

i) Punto de entrega de las aguas depuradas: lugar donde el titular de la autorización de vertido de aguas residuales entrega las aguas depuradas en las condiciones de calidad exigidas en la autorización de vertido, para su regeneración.

j) Punto de entrega de las aguas regeneradas: lugar donde el titular de la concesión o autorización de reutilización de aguas entrega a un usuario las aguas regeneradas, en las condiciones de calidad según su uso previstas en esta disposición.

k) Lugar de uso del agua regenerada: zona o instalación donde se utiliza el agua regenerada suministrada.

l) Autocontrol: programa de control analítico sobre el correcto funcionamiento del sistema de reutilización realizado por el titular de la concesión o autorización de reutilización de aguas.

## Artículo 3. *Régimen jurídico de la reutilización.*

1. La reutilización de las aguas procedentes de un aprovechamiento requerirá concesión administrativa tal como establecen los artículos 59.1 y 109 del texto refundido Ley de Aguas. Será aplicable a la reutilización el régimen jurídico establecido en las secciones 1.ª «La concesión de aguas en general» y 2.ª «Cesión de derechos al uso privativo de las aguas» del capítulo III del título IV del texto refundido de la Ley de Aguas.

2. No obstante lo establecido en el apartado anterior, en el caso de que la reutilización fuese solicitada por el titular de una autorización de vertido de aguas residuales, se requerirá solamente una autorización administrativa.

3. En el caso de que no coincidan en una misma persona, física o jurídica, la condición de primer usuario de

las aguas y de titular de la autorización de vertido se entenderá preferente la solicitud de reutilización que hubiese presentado el titular de la autorización de vertido.

4. La misma preferencia a favor del titular de la autorización de vertido se entenderá reconocida respecto de las solicitudes de concesión de reutilización que presenten terceros que no coincidan con el primer usuario de las aguas.

## CAPÍTULO II

### Condiciones básicas para la reutilización de las aguas depuradas

#### Artículo 4. *Usos admitidos para las aguas regeneradas.*

1. Las aguas regeneradas podrán utilizarse para los usos indicados en el anexo I.A.

2. En los supuestos de reutilización del agua para usos no contemplados en el anexo I.A, el organismo de cuenca exigirá las condiciones de calidad que se adapten al uso más semejante de los descritos en el mencionado anexo. Será necesario, en todo caso, motivar la reutilización del agua para un uso no descrito en el mismo.

3. En todos los supuestos de reutilización de aguas, el organismo de cuenca solicitará de las autoridades sanitarias un informe previo que tendrá carácter vinculante.

4. Se prohíbe la reutilización de aguas para los siguientes usos:

a) Para el consumo humano, salvo situaciones de declaración de catástrofe en las que la autoridad sanitaria especificará los niveles de calidad exigidos a dichas aguas y los usos.

b) Para los usos propios de la industria alimentaria, tal y como se determina en el artículo 2.1 b) del Real Decreto 140/2003, de 7 de febrero por el que se establecen los criterios sanitarios de la calidad del agua de consumo humano, salvo lo dispuesto en el anexo I.A.3.calidad 3.1c) para el uso de aguas de proceso y limpieza en la industria alimentaria.

c) Para uso en instalaciones hospitalarias y otros usos similares.

d) Para el cultivo de moluscos filtradores en acuicultura.

e) Para el uso recreativo como agua de baño.

f) Para el uso en torres de refrigeración y condensadores evaporativos, excepto lo previsto para uso industrial en el anexo I.A.3.calidad 3.2.

g) Para el uso en fuentes y láminas ornamentales en espacios públicos o interiores de edificios públicos.

h) Para cualquier otro uso que la autoridad sanitaria o ambiental considere un riesgo para la salud de las personas o un perjuicio para el medio ambiente, cualquiera que sea el momento en el que se aprecie dicho riesgo o perjuicio.

#### Artículo 5. *Criterios de calidad.*

1. Las aguas regeneradas deben cumplir en el punto de entrega los criterios de calidad según usos establecidos en el anexo I.A. Si un agua regenerada está destinada a varios usos serán de aplicación los valores más exigentes de los usos previstos.

2. Los organismos de cuenca, en las resoluciones por las que otorguen las concesiones o autorizaciones de reutilización, podrán fijar valores para otros parámetros o contaminantes que puedan estar presentes en el agua regenerada o lo prevea la normativa sectorial de aplicación al uso previsto para la reutilización. Asimismo,

podrán fijar niveles de calidad más estrictos de forma motivada.

3. La calidad de las aguas regeneradas se considerará adecuada a las exigencias de este real decreto si el resultado del control analítico realizado de acuerdo con lo previsto en el anexo I.B cumple con los requisitos establecidos con el anexo I.C

4. El titular de la concesión o autorización de reutilización de aguas es responsable de la calidad del agua regenerada y de su control desde el momento en que las aguas depuradas entran en el sistema de reutilización hasta el punto de entrega de las aguas regeneradas.

5. El usuario del agua regenerada es responsable de evitar el deterioro de su calidad desde el punto de entrega del agua regenerada hasta los lugares de uso.

6. Las responsabilidades previstas en los apartados 4 y 5 se entenderán sin perjuicio de la potestad de supervisión y control de las autoridades ambientales y sanitarias.

7. La concesión de reutilización podrá ser modificada como consecuencia de las variaciones o modificaciones que se aprueben respecto de la concesión otorgada para el uso privativo del agua al primer usuario de la misma.

### CAPÍTULO III

#### Contratos de cesión de derechos sobre aguas regeneradas

Artículo 6. *Características de los contratos de cesión de derechos sobre aguas regeneradas.*

1. Los titulares de la concesión de reutilización y los titulares de la autorización complementaria para reutilización de las aguas podrán suscribir contratos de cesión de derechos de uso de agua de acuerdo con lo establecido en los artículos 67 y 68 de la texto refundido de la Ley de Aguas con las siguientes particularidades:

a) El volumen anual susceptible de cesión no será superior al que figure en la concesión o autorización otorgada.

b) La Administración pública al autorizar el contrato suscrito, además de velar por el cumplimiento de los criterios previstos en el artículo 68.3 texto refundido de la Ley de Aguas., observará que se cumplen los criterios de calidad en relación a los usos a que se vayan a destinar los caudales cedidos.

2. Quienes obtienen la concesión o la autorización de reutilización podrán ceder, en los términos que establece el artículo 343 del Reglamento del Dominio Público Hidráulico, aprobado por el Real Decreto 849/1986, de 11 de abril, con carácter temporal a otro concesionario o titular de derechos de igual rango, la totalidad o parte de los derechos de uso que le correspondan, percibiendo a cambio la compensación económica que establece el artículo 345.2 del Reglamento del Dominio Público Hidráulico. De igual modo podrán participar en las operaciones de los Centros de Intercambio de Derechos.

### CAPÍTULO IV

#### Procedimiento para la reutilización de aguas depuradas

Artículo 7. *La reutilización de aguas a través de iniciativas o planes de las Administraciones Públicas.*

1. Con la finalidad de fomentar la reutilización del agua y el uso más eficiente de los recursos hidráulicos, las Administraciones Públicas estatal, autonómica o local, en el ámbito de sus respectivas competencias, podrán llevar a cabo planes y programas de reutilización de aguas. En estos planes se establecerán las infraestructuras

que permitan llevar a cabo la reutilización de los recursos hidráulicos obtenidos para su aplicación a los usos admitidos. En dichos planes se especificará el análisis económico-financiero realizado y el sistema tarifario que corresponda aplicar en cada caso. Asimismo, estos planes y programas serán objeto del procedimiento de evaluación ambiental estratégica conforme a lo establecido en la Ley 9/2006, de 28 de abril, sobre evaluación de los efectos de determinados planes y programas en el medio ambiente.

2. En la ejecución de los citados planes y programas, se cumplirán las exigencias establecidas en el artículo 109 del texto refundido de la Ley de Aguas, y en este real decreto respecto de la necesidad de obtener la concesión o autorización de reutilización de aguas por quien vaya a realizar la actividad.

3. Si la explotación se realiza de forma temporal o permanente por alguna de las administraciones públicas, estatal, autonómica o local, la concesión o autorización de reutilización se otorgará a nombre de la misma, o de la entidad o sociedad pública a quien se haya encomendado la ejecución de las infraestructuras o su explotación, que será la responsable del cumplimiento de todas las condiciones impuestas durante los periodos de prueba y explotación.

4. Cuando la explotación de una infraestructura correspondiese a determinados usuarios, será preciso que la Administración pública correspondiente lleve a cabo la entrega de dicha infraestructura formalizando el oportuno documento en el que deberán constar todas las circunstancias en las que se produce la entrega. En particular se mencionará el hecho de que se transfiere a los usuarios, desde ese momento, la concesión o autorización de reutilización del agua y en consecuencia la responsabilidad en el cumplimiento de las condiciones impuestas. En el ámbito de la Administración General del Estado, las Sociedades Estatales de Aguas solicitarán la necesaria concesión o autorización respecto de las instalaciones de reutilización que se le hubieran encomendado en el correspondiente Convenio de Gestión Directa.

5. Cuando la explotación del sistema de reutilización del agua se realice a través de contratos de concesión de obra pública, el concesionario estará obligado a solicitar la correspondiente concesión o autorización de reutilización.

Artículo 8. *Procedimiento para obtener la concesión de reutilización.*

1. Cuando la solicitud de concesión para reutilizar aguas sea formulada por quien ya es concesionario para la primera utilización de las aguas, el procedimiento se tramitará, sin competencia de proyectos, de acuerdo con lo establecido en este artículo.

2. El expediente se iniciará por el concesionario de las aguas para la primera utilización, que a tal efecto deberá presentar su solicitud dirigida al organismo de cuenca territorialmente competente en cualquiera de los lugares designados en el artículo 38.4 de la Ley 30/1992, de 26 de noviembre, de Régimen Jurídico de las Administraciones Públicas y del Procedimiento Administrativo Común, y en el modelo normalizado que figura en el anexo II, manifestando en ella su propósito de reutilizar las aguas, con indicación del uso para el que las solicita. Dicho modelo estará disponible en la página Web del Ministerio de Medio Ambiente.

3. El petitionerio deberá presentar un proyecto de reutilización de aguas que incluya la documentación necesaria para identificar el origen y la localización geográfica de los puntos de entrega del agua depurada y regenerada; la caracterización del agua depurada; el volumen anual solicitado; el uso al que se va a destinar; el lugar de uso del agua regenerada especificando las carac-

terísticas de las infraestructuras previstas desde la salida del sistema de reutilización de las aguas hasta los lugares de uso; las características de calidad del agua regenerada correspondientes al uso previsto así como el autocontrol analítico propuesto como establece el anexo I; el sistema de reutilización de las aguas; los elementos de control y señalización del sistema de reutilización; las medidas para el uso eficiente del agua y las medidas de gestión del riesgo en caso de que la calidad del agua regenerada no sea conforme con los criterios establecidos en el anexo I correspondientes al uso permitido.

4. Cuando el destino de las aguas regeneradas fuese el uso agrícola se acreditará la titularidad de las tierras que se pretenden regar a favor del peticionario o, en el caso de concesiones solicitadas por comunidades de usuarios, el documento que acredite que la solicitud de concesión ha sido aprobada por la Junta General. Se presentará en todo caso una copia actualizada del plano parcelario del catastro, donde se señalará la zona a regar. Cuando las características del agua regenerada superen los valores de los parámetros e indicadores definidos en el «anexo I.A. Uso Agrícola», el organismo de cuenca recabará, de acuerdo con las instrucciones técnicas vigentes, información adicional referida a los parámetros y las características de los cultivos.

5. El organismo de cuenca examinará la documentación presentada e informará sobre la compatibilidad o incompatibilidad de la solicitud con el Plan Hidrológico de cuenca atendiendo, entre otros, a los caudales ecológicos. En el primer caso continuará la tramitación del expediente; en el segundo denegará la solicitud presentada.

Simultáneamente solicitará el informe al que se refiere el artículo 25.3 del texto refundido de la Ley de Aguas, para el que se concede el plazo de un mes, transcurrido el cual, sin que se haya emitido, continuará la tramitación del expediente en los términos previstos en la Ley 30/1992, de 26 de noviembre.

6. A continuación, el organismo de cuenca elaborará una propuesta en la que se establecerán las condiciones en las que podría otorgarse la concesión para reutilizar las aguas. Este condicionado contendrá, entre otros extremos:

- a) El origen y la localización geográfica del punto de entrega del agua depurada;
- b) El volumen máximo anual en metros cúbicos y modulación establecida, caudal máximo instantáneo expresado en litros por segundo.
- c) El uso admitido.
- d) El punto de entrega y el lugar de uso del agua regenerada.
- e) Las características de calidad del agua regenerada que deben cumplir los criterios de calidad exigidos para cada uso que se establecen en el anexo I.A de este real decreto, hasta su punto de entrega a los usuarios.
- f) El sistema de reutilización de las aguas.
- g) Los elementos de control y señalización del sistema de reutilización.
- h) El programa de autocontrol de la calidad del agua regenerada que incluya los informes sobre el cumplimiento de la calidad exigida que se determinará conforme establece el anexo I.B y I.C.
- i) El plazo de vigencia de la concesión.
- j) Las medidas de gestión del riesgo en caso de calidad inadmisibles de las aguas para el uso autorizado.
- k) Cualquier otra condición que el organismo de cuenca considere oportuna en razón de las características específicas del caso y del cumplimiento de la finalidad del sistema de reutilización del agua.

7. Elaborada la propuesta de condiciones, se solicitará la conformidad expresa del peticionario que tendrá lugar en el plazo de diez días hábiles. Transcurrido este plazo, el organismo de cuenca notificará la resolución

expresa en el plazo máximo de un mes, contado desde que ha tenido constancia de la conformidad.

8. Si el solicitante no estuviera de acuerdo con las condiciones propuestas, presentará motivación justificada que podrá ser o no admitida, dando lugar a resolución expresa de la administración en el plazo de un mes.

9. De no haber respuesta, se denegará la concesión solicitada en el plazo de un mes, contado desde la notificación de la propuesta de condiciones.

#### Artículo 9. *Procedimiento para obtener la autorización de reutilización.*

1. Cuando el titular de la autorización de vertido presente una solicitud para reutilizar las aguas se le otorgará una autorización administrativa, que tendrá el carácter de complementaria a la de vertido, en la que se establecerán los requisitos y condiciones en los que podrá llevarse a cabo la reutilización del agua.

2. Si se solicita la obtención de una autorización de vertido manifestando el propósito de reutilizar las aguas residuales, la autorización de reutilización quedará sujeta al otorgamiento de la autorización de vertido.

3. Para obtener la autorización complementaria a la de vertido será preciso presentar la solicitud prevista en el anexo II con la información exigida en el artículo 8.3 y, en su caso, 8.4. Dicha solicitud se dirigirá al organismo de cuenca territorialmente competente en cualquiera de los lugares designados en el artículo 38.4 de la Ley 30/1992, de 26 de noviembre.

4. Los sucesivos trámites serán los establecidos en los párrafos 5, 6, 7, 8 y 9 del artículo 8.

#### Artículo 10. *Procedimiento para quien no es concesionario de la primera utilización ni titular de la autorización de vertido.*

Si quien formula la solicitud de concesión para reutilización es un tercero que no ostenta la condición de concesionario para la primera utilización, ni la de titular de la autorización de vertido de las aguas residuales, se seguirá el procedimiento que establece el Reglamento del Dominio Público Hidráulico para las concesiones en general, previa presentación de la solicitud para obtener la concesión de reutilización de aguas según el modelo del anexo II. La propuesta de condiciones en la que podría otorgarse la concesión para reutilizar las aguas determinará los extremos establecidos en el artículo 8.6 de este real decreto.

#### Artículo 11. *Disposiciones comunes a la concesión y autorización de reutilización de aguas.*

1. Tanto las concesiones de reutilización como las autorizaciones de reutilización serán inscritas en la Sección A) del Registro de Aguas en la forma que establece el artículo 192 del Reglamento del Dominio Público Hidráulico.

2. El incumplimiento de las obligaciones derivadas del condicionado de la concesión o autorización de reutilización será sancionado con arreglo a lo dispuesto en el título VII del texto refundido de la Ley de Aguas.

3. El titular de la concesión o autorización de reutilización deberá sufragar los costes necesarios para adecuar la reutilización de las aguas a las exigencias de calidad vigentes en cada momento y responderá permanentemente de dicha adecuación.

Cuando proceda a juicio de la administración concedente, la sustitución de caudales concesionales por otros procedentes de la reutilización, la administración responderá de los gastos inherentes a la obra en los términos del

artículo 61.3 segundo párrafo del texto refundido de la Ley de Aguas.

**Disposición transitoria primera.** *Régimen transitorio de las reutilizaciones directas de aguas depuradas con concesión o autorización administrativa vigente.*

Las reutilizaciones directas de aguas depuradas que, a la entrada en vigor de este real decreto, cuenten con concesión o autorización administrativa deberán realizar las adaptaciones que resulten necesarias para poder cumplir las condiciones básicas de la reutilización y las obligaciones impuestas en este real decreto en el plazo de dos años contados desde su entrada en vigor.

**Disposición transitoria segunda.** *Régimen transitorio de los expedientes de reutilización directa de aguas depuradas, iniciados y no resueltos a la entrada en vigor de este real decreto.*

Los expedientes de reutilización directa, iniciados y no resueltos a la entrada en vigor de este real decreto, se resolverán conforme a la legislación vigente al tiempo de su solicitud, sin perjuicio de que una vez otorgada la correspondiente concesión o autorización, el titular de la misma deba realizar, en el plazo de dos años contados desde el otorgamiento de la autorización, las adaptaciones que resulten necesarias para poder cumplir las condiciones básicas de la reutilización y las obligaciones impuestas en este real decreto.

**Disposición derogatoria única.** *Derogación normativa.*

Quedan derogados los artículos 272 y 273 del Reglamento del Dominio Público Hidráulico, así como cuantas disposiciones de igual o inferior rango se opongan a lo dispuesto en este real decreto.

**Disposición final primera.** *Carácter básico.*

Este real decreto tiene el carácter de legislación básica sobre sanidad y medio ambiente y sobre contratos y concesiones administrativas, de conformidad con lo dispuesto en el artículo 149.1.13.<sup>a</sup>, 16.<sup>a</sup>, 23.<sup>a</sup> y 18.<sup>a</sup> de la Constitución, excepto los artículos 3.3, 8 –salvo el primer párrafo de su apartado 5 que también tiene carácter de legislación básica ambiental de conformidad con lo establecido en el artículo 149.1.23.<sup>a</sup>–, 9, 10 y 11.1, que serán exclusivamente de aplicación en las cuencas hidrográficas intercomunitarias, cuya gestión corresponde a la Administración General del Estado conforme al artículo 149.1.22.<sup>a</sup> de la Constitución.

**Disposición final segunda.** *Desarrollo, aplicación y adaptación del real decreto.*

Por los Ministros de Medio Ambiente, de Agricultura, Pesca y Alimentación y de Sanidad y Consumo se dictarán conjunta o separadamente, según las materias de que se trate, y en el ámbito de sus respectivas competencias, las disposiciones que exija el desarrollo y aplicación de este real decreto.

**Disposición final tercera.** *Entrada en vigor.*

El presente real decreto entrará en vigor el día siguiente al de su publicación en el «Boletín Oficial del Estado».

Dado en Madrid, el 7 de diciembre de 2007.

JUAN CARLOS R.

La Vicepresidenta Primera del Gobierno  
y Ministra de la Presidencia,

MARÍA TERESA FERNÁNDEZ DE LA VEGA SANZ

## ANEXO I.A: CRITERIOS DE CALIDAD PARA LA REUTILIZACIÓN DE LAS AGUAS SEGÚN SUS USOS

### CALIDAD REQUERIDA

USO DEL AGUA PREVISTO	VALOR MÁXIMO ADMISIBLE (VMA)				
	NEMATODOS INTESTINALES <sup>1</sup>	ESCHERICHIA COLI	SÓLIDOS EN SUSPENSIÓN	TURBIDEZ	OTROS CRITERIOS
<b>1.- USOS URBANOS</b>					
CALIDAD 1.1: RESIDENCIAL <sup>2</sup> a) Riego de jardines privados. <sup>3</sup> b) Descarga de aparatos sanitarios. <sup>3</sup>	1 huevo/10 L	0 (UFC <sup>4</sup> /100 mL)	10 mg/L	2 UNT <sup>5</sup>	OTROS CONTAMINANTES <sup>6</sup> 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 <sup>7</sup> deberá asegurarse el respeto de las NCAs. <sup>8</sup> <i>Legionella spp.</i> 100 UFC/L (si existe riesgo de aerosolización)
CALIDAD 1.2: SERVICIOS a) Riego de zonas verdes urbanas (parques, campos deportivos y similares). <sup>9</sup> b) Baileo de calles. <sup>9</sup> c) Sistemas contra incendios. <sup>9</sup> d) Lavado industrial de vehículos. <sup>9</sup>	1 huevo/10 L	200 UFC/100 mL	20 mg/L	10 UNT	

<sup>1</sup> Considerar en todos los grupos de calidad al menos los géneros: *Ancylostoma*, *Trichuris* y *Ascaris*.

<sup>2</sup> Deben someterse a controles que aseguren el correcto mantenimiento de las instalaciones.

<sup>3</sup> Su autorización estará condicionada a la obligatoriedad de la presencia doble circuito señalado en todos sus tramos hasta el punto de uso

<sup>4</sup> Unidades Formadoras de Colonias.

<sup>5</sup> Unidades Nefelométricas de Turbiedad.

<sup>6</sup> ver el Anexo II del RD 849/1986, de 11 de abril.

<sup>7</sup> ver Anexo IV del RD 907/2007, de 6 de julio.

<sup>8</sup> 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.

<sup>9</sup> 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, esos usos no serán autorizados

USO DEL AGUA PREVISTO	VALOR MÁXIMO ADMISIBLE (VMA)				
	NEMATODOS INTESTINALES	ESCHERICHIA COLI	SÓLIDOS EN SUSPENSIÓN	TURBIDEZ	OTROS CRITERIOS
<b>2.- USOS AGRÍCOLAS<sup>1</sup></b>					
CALIDAD 2. <sup>2</sup>					
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  Teniendo en cuenta un plan de muestreo a 3 clases <sup>3</sup> con los siguientes valores: n = 10 m = 100 UFC/100 mL M = 1.000 UFC/100 mL c = 3	20 mg/L	10 UNT	OTROS CONTAMINANTES contenidos en la autorización de vertido de 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. <i>Legionella spp.</i> 1.000 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

<sup>1</sup> Características del agua regenerada que requieren información adicional: Conductividad 3,0 dS/m ; Relación de Adsorción 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; Niquel: 0,2 mg/L; Selenio : 0,02 mg/L; Vanadio: 0,1 mg/L...  
Para el cálculo de RAS se utilizará la fórmula:

$$RAS \text{ (meq / L)} = \frac{[Na]}{\sqrt{\frac{[Ca] + [Mg]}{2}}}$$

<sup>2</sup> 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, esos usos no serán autorizados

<sup>3</sup> Siendo n: nº de unidades de la muestra; m: valor límite admisible para el recuento de bacterias; M: valor máximo permitido para el recuento de bacterias; c: número máximo de unidades de muestra cuyo número de bacterias se sitúa entre m y M.

USO DEL AGUA PREVISTO	VALOR MÁXIMO ADMISIBLE (VMA)			
	NEMATODOS INTESTINALES	ESCHERICHIA COLI	SÓLIDOS EN SUSPENSIÓN	TURBIDEZ
<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>	<p>1 huevo/10 L</p>	<p>1.000 UFC/100 mL</p> <p>Teniendo en cuenta un plan de muestreo a 3 clases<sup>1</sup> con los siguientes valores: n = 10 m = 1.000 UFC/100 mL M = 10.000 UFC/100 mL c = 3</p>	<p>35 mg/L</p> <p>No se fija límite</p>	<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. <i>Taenia saginata</i> y <i>Taenia solium</i>: 1 huevo/L (si se riegan pastos para consumo de animales productores de carne) 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>	<p>1 huevo/10 L</p>	<p>10.000 UFC/100 mL</p>	<p>35 mg/L</p> <p>No se fija límite</p>	<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. <i>Legionella spp.</i> 100 UFC/L</p>

<sup>1</sup> Siendo n: nº de unidades de la muestra; m: valor límite admisible para el recuento de bacterias; M: valor máximo permitido para el recuento de bacterias; c: número máximo de unidades de muestra cuyo número de bacterias se sitúa entre m y M.

USO DEL AGUA PREVISTO	VALOR MÁXIMO ADMISIBLE (VMA)				
	NEMATODOS INTESTINALES	ESCHERICHIA COLI	SÓLIDOS EN SUSPENSIÓN	TURBIDEZ	OTROS CRITERIOS
<b>3.- USOS INDUSTRIALES</b>					
CALIDAD 3.1 <sup>1</sup>					
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 <i>Legionella spp.</i> : 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 <sup>2</sup> 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. <i>Legionella spp.</i> : 100 UFC/L 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 <i>Legionella spp.</i> : 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 higiénico-sanitarios 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.
CALIDAD 3.2					
a) Torres de refrigeración y condensadores evaporativos.	1 huevo/10 L	Ausencia UFC/100 mL	5 mg/L	1 UNT	

<sup>1</sup> 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, esos usos no serán autorizados

<sup>2</sup> Siendo n: nº de unidades de la muestra; m: valor límite admisible para el recuento de bacterias; M: valor máximo permitido para el recuento de bacterias; c: número máximo de unidades de muestra cuyo número de bacterias se sitúa entre m y M.

USO DEL AGUA PREVISTO	VALOR MÁXIMO ADMISIBLE (VMA)				
	NEMATODOS INTESTINALES	ESCHERICHIA COLI	SÓLIDOS EN SUSPENSIÓN	TURBIDEZ	OTROS CRITERIOS
<b>4.- USOS RECREATIVOS</b>					
CALIDAD 4.1 <sup>1</sup>					
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 <i>Legionella spp.</i> 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. P <sub>T</sub> : 2 mg P/L (en agua estancada)

<sup>1</sup> 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, esos usos no serán autorizados

USO DEL AGUA PREVISTO	VALOR MÁXIMO ADMISIBLE (VMA)				
	NEMATODOS INTESTINALES	ESCHERICHIA COLI	SÓLIDOS EN SUSPENSIÓN	TURBIDEZ	OTROS CRITERIOS
<b>5.- USOS AMBIENTALES</b>					
<b>CALIDAD 5.1</b> 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	N <sub>T</sub> <sup>1</sup> : 10 mg N/L NO <sub>3</sub> : 25 mg NO <sub>3</sub> /L
<b>CALIDAD 5.2</b> a) Recarga de acuíferos por inyección directa.	1 huevo/10 L	0 UFC/100 mL	10 mg/L	2 UNT	Art. 257 a 259 del RD 849/1986
<b>CALIDAD 5.3</b> 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.
<b>CALIDAD 5.4</b> a) Otros usos ambientales (mantenimiento de humedales, caudales mínimos y similares).	La calidad mínima requerida se estudiará caso por caso				

<sup>1</sup> Nitrógeno total, suma del nitrógeno inorgánico y orgánico presente en la muestra

### ANEXO I.B: FRECUENCIA MÍNIMA DE MUESTREO Y ANÁLISIS DE CADA PARÁMETRO

El control deberá realizarse a la salida de la planta de regeneración, y en todos los puntos de entrega al usuario.

La frecuencia de análisis se modificará en los siguientes supuestos:

- i. Tras 1 año de control se podrá presentar una solicitud motivada para reducir la frecuencia de análisis hasta un 50%, para aquellos parámetros que no sea probable su presencia en las aguas.
- ii. Si el número de muestras con concentración inferior al VMA del Anexo I.A es inferior al 90% de las muestras durante controles de un trimestre (o fracción, en caso de periodos de explotación inferiores), se duplicará la frecuencia de muestreo para el periodo siguiente.
- iii. Si el resultado de un control supera al menos en uno de los parámetros los rangos de desviación máxima establecidos en el Anexo I.C, la frecuencia de control del parámetro que supere los rangos de desviación se duplicará durante el resto de este periodo y el siguiente.

Las frecuencias mínimas de análisis se especifican en la tabla siguiente:

USO	CALIDAD	NEMATODOS INTESTINALES	ESCHERICHIA COLI	SS	TURBIDEZ	N <sub>T</sub> Y P <sub>T</sub>	OTROS CONTAMINANTES	OTROS CRITERIOS	
1.- USO URBANO	1.1 y 1.2	Quincenal	2 veces semana	Semanal	2 veces semana	----	El Organismo de cuenca valorará la frecuencia de análisis sobre la base de la autorización de vertido y del tratamiento de regeneración.	Mensual	
	2.1	Quincenal	Semanal	Semanal	Semanal	----		Mensual	
	2.2	Quincenal	Semanal	Semanal	----	----		Quincenal	
2.3	Quincenal	Semanal	Semanal	----	----	----			
3.- USO INDUSTRIAL	3.1	----	Semanal	Semanal	Semanal	----		Mensual	
	3.2	Semanal	3 veces semana	Diaria	Diaria	----		<i>Legionella spp.</i> 3 veces semana	
4.- USO RECREATIVO	4.1	Quincenal	2 veces semana	Semanal	2 veces semana	----			----
	4.2	----	Semanal	Semanal	----	Mensual			----
	5.1	----	2 veces semana	Semanal	----	Semanal			----
5.- USO AMBIENTAL	5.2	Semanal	3 veces semana	Diaria	Diaria	Semanal			Semanal
	5.3	----	----	Semanal	----	----		----	
	5.4							Frecuencia igual al uso más similar	

### ANEXO I.C: EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE LAS AGUAS REGENERADAS

La calidad de las aguas regeneradas se valorará mediante el análisis de muestras tomadas sistemáticamente en todos los puntos de entrega de las mismas y con las frecuencias mínimas previstas en el Anexo I.B.

#### CRITERIOS DE CONFORMIDAD

La calidad de las aguas regeneradas se considerará adecuada a las exigencias de este real decreto si en los controles analíticos de un trimestre, o fracción cuando el período de explotación sea inferior, cumpla simultáneamente:

- i. El 90% de las muestras tendrá resultados inferiores a los VMA en todos los parámetros especificados en el Anexo I.A.,
- ii. Las muestras que superen el VMA del Anexo I.A no sobrepasen los límites de desviación máxima establecidos a continuación
- iii. Para las sustancias peligrosas deberá asegurarse el respeto de las Normas de Calidad Ambiental en el punto de entrega de las aguas regeneradas según la legislación propia de aplicación

PARÁMETRO	LIMITE DE DESVIACIÓN MÁXIMA*
Nematodos intestinales	100% del VMA
<i>Escherichia coli</i>	1 unidad logarítmica
<i>Legionella spp</i>	1 unidad logarítmica
<i>Taenia saginata</i>	100% del VMA
<i>Taenia solium</i>	100% del VMA
Sólidos en suspensión	50% del VMA
Turbidez	100% del VMA
Nitratos	50% del VMA
Nitrógeno Total	50% del VMA
Fósforo Total	50% del VMA

\*Se entiende por desviación máxima la diferencia entre el valor medido y el VMA

#### MEDIDAS DE GESTIÓN FRENTE A INCUMPLIMIENTOS

- 1º. Se procederá a la suspensión del suministro de agua regenerada en los casos en los que no se cumplan los criterios de conformidad i e iii anteriores.
- 2º. Si en un control se superan en un parámetro los límites de desviación máxima de la tabla anterior, se procederá a realizar un segundo control a las 24 horas. En el caso de persistir esta situación se procederá a la suspensión del suministro.
- 3º. El suministro se reanudará cuando se hayan tomado las medidas oportunas en lo relativo al tratamiento para que la incidencia no vuelva a ocurrir, y se haya constatado que el agua regenerada cumple los VMA del Anexo I.A durante cuatro controles efectuados en días sucesivos.
- 4º. En los casos de incumplimiento descritos en los apartados 1º, 2º y 3º será de aplicación la modificación de frecuencias de control prevista en el Anexo I.B.

### ANÁLISIS DE LAS MUESTRAS

Los métodos o técnicas analíticas de referencia que se proponen en este Anexo se tomarán como referencia o guía. Se podrán emplear métodos alternativos siempre que estén validados y den resultados comparables a los obtenidos por el de referencia. Para el caso del análisis de contaminantes deberán cumplir los valores de incertidumbre y límite de cuantificación especificados en la tabla correspondiente. Los análisis deberán ser realizados en laboratorios de ensayo que dispongan de un sistema de control de calidad según la Norma UNE-EN ISO/IEC 17025.

### MICROBIOLÓGICOS

PARÁMETRO	MÉTODOS O TÉCNICAS ANALÍTICAS DE REFERENCIA
Nematodos intestinales	Método Baillinger modificado por Bouhoum & Schwartzbrod. "Analysis of wastewater for use in agriculture" Ayres & Mara O.M.S. (1996)
<i>Escherichia coli</i>	Recuento de Bacterias <i>Escherichia Coli</i> β- Glucuronidasa positiva
<i>Legionella spp</i>	Norma ISO 11731 parte 1: 1998 Calidad del Agua. Detección y enumeración de <i>Legionella</i> .-
<i>Taenia saginata</i>	-----
<i>Taenia solium</i>	-----

### CONTAMINANTES

PARÁMETRO	TÉCNICA DE REFERENCIA	U <sup>1</sup>	LC <sup>2</sup>
Sólidos en suspensión	Gravimetría con filtro de fibra de vidrio	30%	5 mg/L
Turbidez	Nefelometría	30%	0,5 UNT
Nitritos	Espectroscopia de absorción molecular Cromatografía Iónica	30%	10 mg NO <sub>2</sub> /L
Nitrógeno Total	Suma de Nitrógeno Kjeldahl, nitratos y nitritos Autoanalizador	30%	3 mg N/L
Fósforo Total	Espectroscopia de absorción molecular Espectrofotometría de plasma	30%	0,5 mg P/L
Sustancias Peligrosas	Cromatografía Espectroscopia	Metales: 30% Orgánicos: 50%	30% de NCA

<sup>1</sup> Incertidumbre máxima expandida con un factor de cobertura de 2.

<sup>2</sup> Límite de cuantificación, es decir, concentración mínima de interés que puede determinarse con el nivel de incertidumbre requerido en la tabla.

## ANEXO II: SOLICITUD PARA OBTENER LA CONCESIÓN O AUTORIZACIÓN DE REUTILIZACIÓN DE AGUAS

REGISTRO DE PRESENTACIÓN en la Administración	REGISTRO DE ENTRADA en la Confederación Hidrográfica	Nº de Expediente (a rellenar por la Administración)
		SOLICITUD

SOLICITUD DE CONCESIÓN O DE AUTORIZACIÓN DE REUTILIZACIÓN DE AGUAS									
DATOS DEL SOLICITANTE									
Titular								NIF/CIF	
Domicilio social	Calle / Plaza /		Dirección		Nº		Piso	Escalera	Puerta
	Lugar/Paraje/ Polígono Industrial								
	Municipio				Cód. Postal			Provincia	
	Teléfono		Móvil		Fax			Correo electrónico	
Representante	Nombre								
	Cargo								
	Teléfono		Móvil		Fax			Correo electrónico	
Radicación de la actividad	Calle / Plaza /		Dirección		Nº		Piso	Escalera	Puerta
	Lugar/Paraje/ Polígono Industrial								
	Municipio				Cód. Postal			Provincia	
Domicilio a efectos de notificación	Calle / Plaza /		Dirección		Nº		Piso	Escalera	Puerta
	Lugar/Paraje/ Polígono Industrial								
	Municipio				Cód. Postal			Provincia	
<b>SOLICITA</b>	<input type="checkbox"/> <b>CONCESIÓN DE REUTILIZACIÓN DE AGUAS</b> <input type="checkbox"/> ES CONCESIONARIO DE LA PRIMERA UTILIZACIÓN (no es titular de la autorización de vertido) <input type="checkbox"/> NO ES CONCESIONARIO DE LA PRIMERA UTILIZACIÓN (tramítese la concesión por el procedimiento general)  TITULAR DE LA AUTORIZACIÓN DE VERTIDO CUYAS AGUAS DEPURADAS SE PRETENDEN REUTILIZAR: ..... .....Nº DE EXPEDIENTE DEL TITULAR <input style="width: 150px;" type="text"/>								
	<input type="checkbox"/> <b>AUTORIZACIÓN DE REUTILIZACIÓN DE AGUAS</b> <input type="checkbox"/> DISPONE DE AUTORIZACIÓN DE VERTIDO      Nº DE EXPEDIENTE <input style="width: 150px;" type="text"/> <input type="checkbox"/> SOLICITA SIMULTÁNEAMENTE LA AUTORIZACIÓN DE VERTIDO Y DE REUTILIZACIÓN								
<input type="checkbox"/> Titular <input type="checkbox"/> Representante      FIRMA									
En....., a..... de..... de 20.....      NOMBRE:									

DOCUMENTOS QUE SE ACOMPAÑAN LA SOLICITUD	
1.	
2.	
3.	
4.	
5.	

### PROYECTO DE REUTILIZACIÓN DE AGUAS

INFORMACIÓN GENERAL									
TÍTULO DEL PROYECTO									
AUTOR DEL PROYECTO							Fecha de redacción		
¿Es complementario a un proyecto de autorización de vertido de aguas residuales que obre en poder de la Confederación Hidrográfica?							<input type="checkbox"/> Sí		<input type="checkbox"/> No
EN CASO AFIRMATIVO: TÍTULO DEL PROYECTO DE AUTORIZACIÓN DE VERTIDO									
ORIGEN DE LAS AGUAS									
Nombre de la EDAR									
Municipio			Provincia						
Lugar/Paraje/ Polígono Industrial									
Referencia catastral		Polígono		Parcela					
LOCALIZACIÓN DEL PUNTO DE ENTREGA DEL AGUA DEPURADA									
Coordenadas		UTM X (6 dígitos)		UTM Y (7 dígitos)		Huso		Nº Hoja 1/50.000	
VOLUMEN SOLICITADO									
Volumen máximo anual (m <sup>3</sup> )		Modulación			Caudal máximo instantáneo (L/s)				
CARACTERIZACIÓN DEL AGUA DEPURADA									

<b>USO AL QUE SE VA A DESTINAR EL AGUA REGENERADA</b>	
<input type="checkbox"/> <b>1. USO URBANO</b>	
CALIDAD 1.1 RESIDENCIAL	<input type="checkbox"/> a) Riego de jardines privados <input type="checkbox"/> b) Descarga de aparatos sanitarios
CALIDAD 1.2 SERVICIOS URBANOS	<input type="checkbox"/> a) Riego de zonas verdes urbanas (parques, campos deportivos y similares). <input type="checkbox"/> b) Baldeo de calles. <input type="checkbox"/> c) Sistemas contra incendios. <input type="checkbox"/> d) Lavado industrial de vehículos.
<input type="checkbox"/> <b>2. USO AGRÍCOLA</b>	
CALIDAD 2.1	<input type="checkbox"/> 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.
CALIDAD 2.2	<input type="checkbox"/> 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. <input type="checkbox"/> b) Riego de pastos para consumo de animales productores de leche o carne. <input type="checkbox"/> c) Acuicultura.
CALIDAD 2.3	<input type="checkbox"/> a) Riego localizado de cultivos leñosos que impida el contacto del agua regenerada con los frutos consumidos en la alimentación humana. <input type="checkbox"/> b) Riego de cultivos de flores ornamentales, viveros, invernaderos sin contacto directo del agua regenerada con las producciones. <input type="checkbox"/> c) Riego de cultivos industriales, viveros, forrajes ensilados, cereales y semillas oleaginosas.
<b>Señale la documentación que ha adjuntado a esta solicitud</b>	
<input type="checkbox"/> Acreditación de la titularidad de las tierras que se pretenden regar a favor del peticionario <input type="checkbox"/> Documento que acredite que la solicitud de concesión ha sido aprobada por la Junta General (para solicitud de concesión por comunidades de usuarios) <input type="checkbox"/> Copia actualizada del plano parcelario del catastro, donde se señalará la zona regada <input type="checkbox"/> 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 higiénico-sanitarios para la prevención y control de la legionelosis. <sup>1</sup>	
<input type="checkbox"/> <b>3. USO INDUSTRIAL</b>	
CALIDAD 3.1	<input type="checkbox"/> a) Aguas de proceso y limpieza, excepto en la industria alimentaria. <input type="checkbox"/> b) Otros usos industriales. <input type="checkbox"/> c) Aguas de proceso y limpieza para uso en la industria alimentaria
CALIDAD 3.2	<input type="checkbox"/> a) Torres de refrigeración y condensadores evaporativos.
<input type="checkbox"/> <b>4. USO RECREATIVO</b>	
CALIDAD 4.1	<input type="checkbox"/> a) Riego de campos de golf
CALIDAD 4.2	<input type="checkbox"/> a) Estanques, masas de agua y caudales circulantes ornamentales, en los que está impedido el acceso del público al agua
<input type="checkbox"/> <b>5. USO AMBIENTAL</b>	
CALIDAD 5.1	<input type="checkbox"/> a) Recarga de acuíferos por percolación localizada a través del terreno
CALIDAD 5.2	<input type="checkbox"/> a) Recarga de acuíferos por inyección directa
CALIDAD 5.3	<input type="checkbox"/> a) Riego de bosques, zonas verdes y de otro tipo no accesibles al público <input type="checkbox"/> b) Silvicultura
CALIDAD 5.4	<input type="checkbox"/> a) Otros usos ambientales (mantenimiento de humedales, caudales mínimos y similares): .....

<sup>1</sup> Para el uso industrial en torres de refrigeración y condensadores evaporativos.

LUGAR DE USO y LOCALIZACIÓN DEL PUNTO DE ENTREGA DEL AGUA REGENERADA <sup>1</sup>											
USOS EN ZONAS											
<b>ZONA 1</b>											
<b>LOCALIZACIÓN DEL PUNTO DE ENTREGA DEL AGUA REGENERADA</b>											
Coordenadas	UTM X (6 dígitos)		UTM Y (7 dígitos)		Huso		Nº Hoja 1/50.000				
<b>LUGAR DE USO DEL AGUA REGENERADA</b>											
Municipio					Provincia						
Lugar/Paraje/ Polígono Industrial											
Referencia catastral	Polígono			Parcela			Nº Hoja 1/50.000				
Recarga de acuíferos	Profundidad (m)			Unidad hidrogeológica			Acuífero				
Coordenadas	UTM X (6 dígitos)		UTM Y (7 dígitos)		Huso		Nº Hoja 1/50.000				
<b>ZONA 2</b>											
<b>LOCALIZACIÓN DEL PUNTO DE ENTREGA DEL AGUA REGENERADA</b>											
Coordenadas	UTM X (6 dígitos)		UTM Y (7 dígitos)		Huso		Nº Hoja 1/50.000				
<b>LUGAR DE USO DEL AGUA REGENERADA</b>											
Municipio					Provincia						
Lugar/Paraje/ Polígono Industrial											
Referencia catastral	Polígono			Parcela			Nº Hoja 1/50.000				
Recarga de acuíferos	Profundidad (m)			Unidad hidrogeológica			Acuífero				
Coordenadas	UTM X (6 dígitos)		UTM Y (7 dígitos)		Huso		Nº Hoja 1/50.000				
<b>USOS EN INSTALACIONES</b>											
<b>INSTALACIÓN 1</b>											
<b>LOCALIZACIÓN DEL PUNTO DE ENTREGA DEL AGUA REGENERADA</b>											
Coordenadas	UTM X (6 dígitos)		UTM Y (7 dígitos)		Huso		Nº Hoja 1/50.000				
<b>LUGAR DE USO DEL AGUA REGENERADA</b>											
Titular							NIF/CIF				
Actividad Principal	CNAE			Título CNAE							
Radicación de la actividad	Calle / Plaza /	Dirección			Nº	Piso	Escalera	Puerta			
	Lugar / Paraje / Polígono Industrial										
	Municipio				Cód. Postal			Provincia			
<b>INSTALACIÓN 2</b>											
<b>LOCALIZACIÓN DEL PUNTO DE ENTREGA DEL AGUA REGENERADA</b>											
Coordenadas	UTM X (6 dígitos)		UTM Y (7 dígitos)		Huso		Nº Hoja 1/50.000				
<b>LUGAR DE USO DEL AGUA REGENERADA</b>											
Titular							NIF/CIF				
Actividad Principal	CNAE			Título CNAE							
Radicación de la actividad	Calle / Plaza /	Dirección			Nº	Piso	Escalera	Puerta			
	Lugar / Paraje / Polígono Industrial										
	Municipio				Cód. Postal			Provincia			

<sup>1</sup> Este formulario permite describir, como lugar de uso del agua regenerada, dos zonas y dos instalaciones. Si hay más lugares de uso, se utilizarán tantos ejemplares como sean necesarios.

CARACTERIZACIÓN DE LAS AGUAS REGENERADAS y CONTROL PROPUESTO					
PARÁMETRO DE CALIDAD	CRITERIO DE CALIDAD		CONTROL ANALÍTICO		
	Valor	Unidad	Periodicidad	Método	LC
Nematodos intestinales		huevo/L			
<i>Escherichia coli</i>		UFC /100 mL			
<i>Legionella spp.</i>		UFC/L			
<i>Taenia saginata</i>		huevo/L			
<i>Taenia Solium</i>		huevo/L			
Sólidos en suspensión		mg/L			
Turbidez		UNT			
Olor					
Fósforo total		mg/L			
Nitrógeno total		mg/L			
Nitratos		mg/L			
Otros contaminantes <sup>1</sup>					
Sustancias peligrosas <sup>2</sup>		µg/L			

USO INDUSTRIAL EN TORRES DE REFRIGERACIÓN Y CONDENSADORES EVAPORATIVOS
BREVE DESCRIPCIÓN 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 HIGIÉNICO-SANITARIOS PARA LA PREVENCIÓN Y CONTROL DE LA LEGIONELOSIS

<sup>1</sup> Ver Anexo II del RD 849/1986, 11 de Abril

<sup>2</sup> Ver Anexo IV del RD 907/2007, 6 de Julio

SISTEMA DE REUTILIZACIÓN DE LAS AGUAS											
ORIGEN DE LAS AGUAS DEPURADAS											
¿Se someten las aguas residuales brutas a depuración en una EDAR antes de su regeneración? En caso afirmativo señale el sistema de depuración:										<input type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> NO	
<input type="checkbox"/> Pretratamiento		<input type="checkbox"/> Tratamiento primario		<input type="checkbox"/> Tratamiento secundario		<input type="checkbox"/> Más riguroso			<input type="checkbox"/> Otros		
<input type="checkbox"/> Tanque de regulación		<input type="checkbox"/> Decantación primaria		<input type="checkbox"/> Fangos activados		<input type="checkbox"/> Desinfección (cloración)		<input type="checkbox"/> Ozonización		<input type="checkbox"/> .....	
<input type="checkbox"/> Desbaste		<input type="checkbox"/> Físico-Químico		<input type="checkbox"/> Lechos bacterianos o biofiltros		<input type="checkbox"/> Nitrificación/Desnitrificación		<input type="checkbox"/> Ultravioleta		<input type="checkbox"/> .....	
<input type="checkbox"/> Desarenado				<input type="checkbox"/> Lagunaje		<input type="checkbox"/> Eliminación de Fósforo		<input type="checkbox"/> Ultrafiltración / Ósmosis inversa		<input type="checkbox"/> .....	
<input type="checkbox"/> Desengrasado				<input type="checkbox"/> Otros						<input type="checkbox"/> .....	
ESTACIÓN REGENERADORA DE LAS AGUAS											
I) DATOS GENERALES DE LA INSTALACIÓN											
Nombre de la Estación						<input type="checkbox"/> En proyecto: <input type="checkbox"/> Existente Año de construcción:.....					
Propietario								CIF/NIF			
Situación		Lugar / Paraje / Polígono Industrial			Municipio			Provincia			
		Coordenadas		UTM X (6 dígitos)	UTM Y (7 dígitos)		Huso		Nº Hoja 1/50.000		
		Polígono			Parcela						
Gestor responsable de la planta		Razón social				Telf.		Fax			
II) PROCESO REGENERACIÓN											
<input type="checkbox"/> Nitrificación/Desnitrificación		<input type="checkbox"/> Desinfección (cloración)		<input type="checkbox"/> Luz Ultravioleta		<input type="checkbox"/> .....		<input type="checkbox"/> .....			
<input type="checkbox"/> Eliminación de Fósforo		<input type="checkbox"/> Ozonización		<input type="checkbox"/> Ultrafiltración / Ósmosis inversa		<input type="checkbox"/> .....		<input type="checkbox"/> .....			
Capacidad máxima de regeneración (m <sup>3</sup> /h)								Régimen de funcionamiento		<input type="checkbox"/> Continuo <input type="checkbox"/> Estacional	
III) DESCRIPCIÓN O DIAGRAMA DEL PROCESO DE REUTILIZACIÓN											

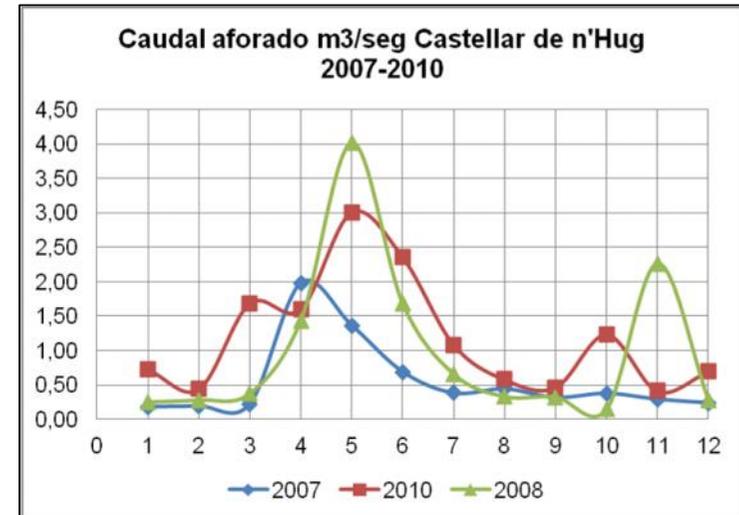
<b>INFRAESTRUCTURAS DE ALMACENAMIENTO Y DISTRIBUCIÓN</b>
<b>DESCRIPCIÓN O DIAGRAMA DE LAS INSTALACIONES DE ALMACENAMIENTO</b>
<b>DESCRIPCIÓN O DIAGRAMA DE LAS INSTALACIONES DE DISTRIBUCIÓN</b>
<b>DESCRIPCIÓN DE LOS ELEMENTOS DE CONTROL</b>
<b>DESCRIPCIÓN DE LOS ELEMENTOS DE SEÑALIZACIÓN</b>

**INFRAESTRUCTURAS DESDE LA SALIDA DEL SISTEMA DE REUTILIZACIÓN HASTA LOS LUGARES DE USO**

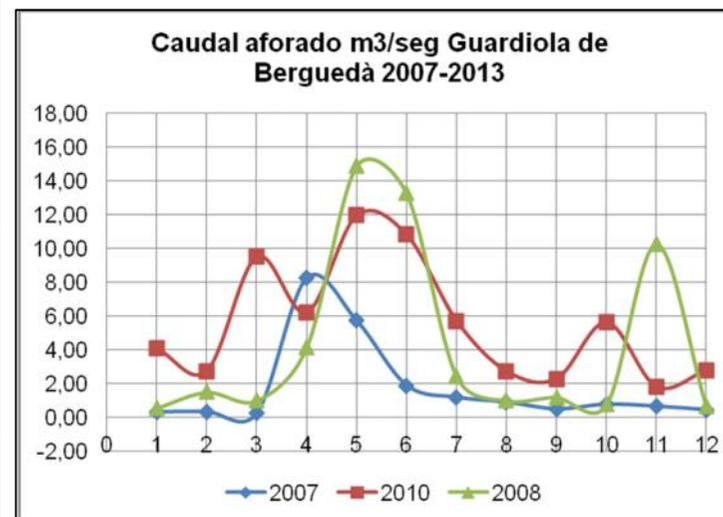
<b>MEDIDAS PARA EL USO EFICIENTE DEL AGUA</b>	
1.	
2.	
3.	
4.	
5.	
6.	
7.	
8.	
<b>MEDIDAS DE GESTIÓN DEL RIESGO EN CASO DE CALIDAD INADMISIBLE DE LAS AGUAS PARA EL USO ADMITIDO</b>	
¿Existe un plan de actuaciones en caso calidad inadmisibile al uso? <input type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No	
<b>RELACIÓN DE LAS MEDIDAS PROPUESTAS</b>	
1.	
2.	
3.	
4.	
5.	
6.	
7.	
8.	
9.	.....

**ANEXO II. DATOS DE AFORO**

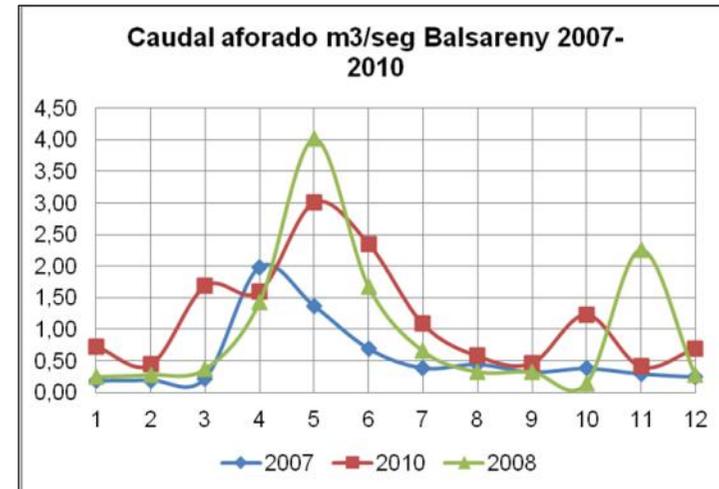
Aforo - Castell de n'Hug					
2007	Caudal m <sup>3</sup> /s	2008	Caudal m <sup>3</sup> /s	2010	Caudal m <sup>3</sup> /s
01.Gener	0,18	01.Gener	0,25	01.Gener	0,73
02.Febrer	0,19	02.Febrer	0,28	02.Febrer	0,44
03.Març	0,22	03.Març	0,37	03.Març	1,69
04.Abril	1,98	04.Abril	1,43	04.Abril	1,60
05.Maig	1,36	05.Maig	4,01	05.Maig	3,00
06.Juny	0,69	06.Juny	1,68	06.Juny	2,35
07.Juliol	0,38	07.Juliol	0,66	07.Juliol	1,08
08.Agost	0,44	08.Agost	0,33	08.Agost	0,58
09.Setembre	0,32	09.Setembre	0,32	09.Setembre	0,46
10.Octubre	0,38	10.Octubre	0,14	10.Octubre	1,23
11.Novembre	0,29	11.Novembre	2,26	11.Novembre	0,41
12.Desembre	0,24	12.Desembre	0,28	12.Desembre	0,70
Promedio	0,56	Promedio m <sup>3</sup> /año	1,00	Promedio m <sup>3</sup> /año	1,19
Máximo	1,98	Máximo	4,01	Máximo	3,00
Mínimo	0,18	Mínimo	0,14	Mínimo	0,41
Desviación típica	0,55	Desviación típica	1,17	Desviación típica	0,83
CV	99,64%	CV	116,95%	CV	69,82%



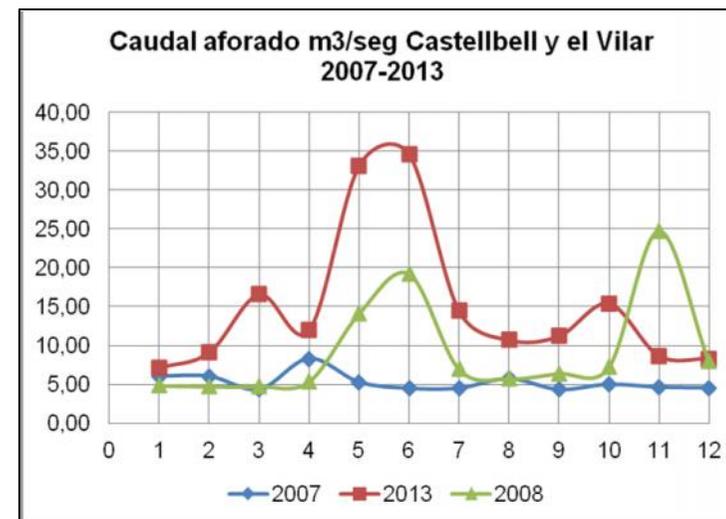
Aforo-Guardiola de Berguedà					
2007	Caudal m <sup>3</sup> /s	2008	Caudal m <sup>3</sup> /s	2013	Caudal m <sup>3</sup> /s
01.Gener	0,33	01.Gener	0,57	01.Gener	4,08
02.Febrer	0,34	02.Febrer	1,50	02.Febrer	2,74
03.Març	0,24	03.Març	1,01	03.Març	9,52
04.Abril	8,25	04.Abril	4,15	04.Abril	6,21
05.Maig	5,73	05.Maig	14,88	05.Maig	11,97
06.Juny	1,90	06.Juny	13,27	06.Juny	10,83
07.Juliol	1,19	07.Juliol	2,44	07.Juliol	5,71
08.Agost	0,91	08.Agost	1,00	08.Agost	2,73
09.Setembre	0,51	09.Setembre	1,21	09.Setembre	2,27
10.Octubre	0,78	10.Octubre	0,76	10.Octubre	5,63
11.Novembre	0,66	11.Novembre	10,27	11.Novembre	1,81
12.Desembre	0,46	12.Desembre	0,65	12.Desembre	2,77
Promedio	1,78	Promedio	4,31	Promedio	5,70
Máximo	8,25	Máximo	14,88	Máximo	18,30
Mínimo	0,24	Mínimo	0,57	Mínimo	1,27
Desviación típica	2,53	Desviación típica	5,31	Desviación típica	5,24
CV	142,74%	CV	123,28%	CV	91,90%



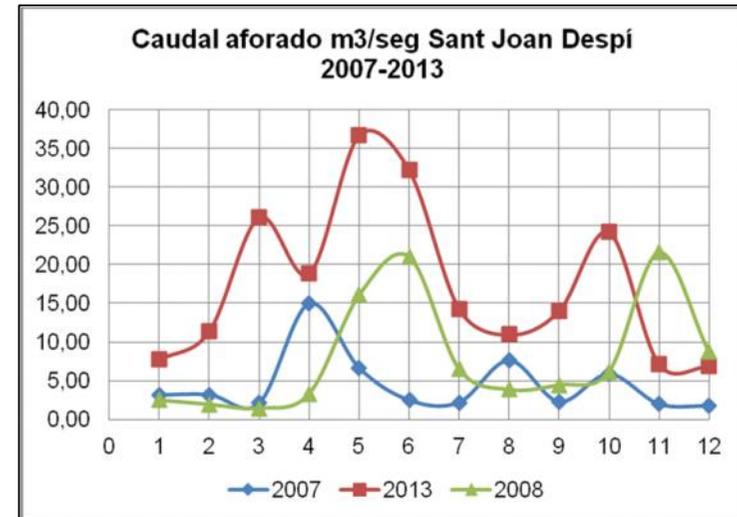
Aforo - Balsareny					
2007	Caudal m <sup>3</sup> /s	2008	Caudal m <sup>3</sup> /s	2010	Caudal m <sup>3</sup> /s
01.Gener	6,09	01.Gener	2,49	01.Gener	4,81
02.Febrer	3,73	02.Febrer	2,56	02.Febrer	5,21
03.Març	3,48	03.Març	3,90	03.Març	8,95
04.Abril	4,75	04.Abril	4,86	04.Abril	8,92
05.Maig	5,20	05.Maig	10,54	05.Maig	14,85
06.Juny	5,81	06.Juny	13,05	06.Juny	16,07
07.Juliol	5,76	07.Juliol	7,26	07.Juliol	8,93
08.Agost	5,34	08.Agost	6,65	08.Agost	7,20
09.Setembre	5,65	09.Setembre	7,03	09.Setembre	6,83
10.Octubre	4,70	10.Octubre	6,71	10.Octubre	7,65
11.Novembre	3,15	11.Novembre	10,44	11.Novembre	6,16
12.Desembre	2,65	12.Desembre	5,08	12.Desembre	5,64
Promedio	4,69	Promedio	6,71	Promedio	8,44
Máximo	6,09	Máximo	13,05	Máximo	16,07
Mínimo	2,65	Mínimo	2,49	Mínimo	4,81
Desviación típica	1,16	Desviación típica	3,28	Desviación típica	3,59
CV	24,81%	CV	48,80%	CV	42,50%



Aforo - Castellbell y el Vilar					
2007	Caudal m <sup>3</sup> /s	2008	Caudal m <sup>3</sup> /s	2013	Caudal m <sup>3</sup> /s
01.Gener	6,06	01.Gener	4,85	01.Gener	7,15
02.Febrer	6,05	02.Febrer	4,75	02.Febrer	9,10
03.Març	4,37	03.Març	4,76	03.Març	16,58
04.Abril	8,32	04.Abril	5,38	04.Abril	11,97
05.Maig	5,27	05.Maig	14,14	05.Maig	33,14
06.Juny	4,50	06.Juny	19,23	06.Juny	34,62
07.Juliol	4,51	07.Juliol	6,98	07.Juliol	14,45
08.Agost	5,73	08.Agost	5,75	08.Agost	10,71
09.Setembre	4,34	09.Setembre	6,44	09.Setembre	11,21
10.Octubre	5,00	10.Octubre	7,22	10.Octubre	15,43
11.Novembre	4,64	11.Novembre	24,77	11.Novembre	8,69
12.Desembre	4,57	12.Desembre	8,00	12.Desembre	8,32
Promedio	5,28	Promedio	9,36	Promedio	11,20
Máximo	8,32	Máximo	24,77	Máximo	33,44
Mínimo	4,34	Mínimo	4,75	Mínimo	5,64
Desviación típica	1,15	Desviación típica	6,54	Desviación típica	7,63
CV	21,82%	CV	69,85%	CV	68,12%



Aforo - Sant Joan Despí					
2007	Caudal m <sup>3</sup> /s	2008	Caudal m <sup>3</sup> /s	2010	Caudal m <sup>3</sup> /s
01.Gener	3,17	01.Gener	2,47	01.Gener	7,75
02.Febrer	3,21	02.Febrer	1,92	02.Febrer	11,41
03.Març	2,11	03.Març	1,42	03.Març	26,10
04.Abril	14,98	04.Abril	3,31	04.Abril	18,86
05.Maig	6,66	05.Maig	16,07	05.Maig	36,68
06.Juny	2,50	06.Juny	21,03	06.Juny	32,22
07.Juliol	2,21	07.Juliol	6,50	07.Juliol	14,31
08.Agost	7,62	08.Agost	3,84	08.Agost	10,95
09.Setembre	2,30	09.Setembre	4,45	09.Setembre	14,00
10.Octubre	5,86	10.Octubre	6,15	10.Octubre	24,21
11.Novembre	2,00	11.Novembre	21,57	11.Novembre	7,19
12.Desembre	1,75	12.Desembre	8,71	12.Desembre	6,90
Promedio	4,53	Promedio	8,12	Promedio	11,47
Máximo	14,98	Máximo	21,57	Máximo	39,98
Mínimo	1,75	Mínimo	1,42	Mínimo	3,83
Desviación típica	3,85	Desviación típica	7,31	Desviación típica	10,30
CV	85%	CV	90%	CV	90%



### ANEXO III. DATOS ESTACIONES DEPURADORA DE AGUAS RESICUALES CUENCA DEL RÍO LLOBREGAT

Tabla 48. Inventario de EDAR en la cuenca del río Llobregat, cauce principal y afluentes. Datos 2012. Fuente: Elaboración propia.

EDAR	Origen del Agua	Tipo de Tratamiento	Capacidad m <sup>3</sup> /día	Punto de vertido
CASTELLAR DE N'HUG	2000	Biológico con eliminación de nitrógeno	240	Llobregat
POBLA DE LILLET	3500	Biológico con eliminación de nitrógeno y fósforo	600	Llobregat
BAGÀ/GUARDIOLA B.	10000	Biológico	3000	Llobregat
SANT CORNELI DE CERCS	275	Biológico	50	Sant Romà
<b>Hasta el Pantano de La Baells</b>				
CERCS	2500	Biológico con eliminación de nitrógeno	500	Pantà La Baells
BERGA	41500	Biológico	8300	Llobregat
GIRONELLA	8750	Biológico	1500	Llobregat
CASSERRES	2201	Biológico	475	Clarà
PUIG-REIG	8538	Biológico	1317	Llobregat
ALPENS	833	Biológico	200	Alpens
PRATS DEL LLUÇANÈS	4375	Biológico con eliminación de nitrógeno y fósforo	875	Medrinyol
MUJAL		Tratamiento suave	30	Infiltración
NAVÀS	8750	Biológico	1500	Mujal
BALSARENY	9375	Biológico	1500	Llobregat
CASTELLNOU DEL BAGES	2500	Biológico con eliminación de nitrógeno	500	Ballver
CASTELLNOU DEL BAGES - LA FIGUEROLA	583	Biológico	70	Or
SALLENT/ARTÉS	27043	Biológico con eliminación de nitrógeno y fósforo	3800	Llobregat
AVINYÓ	4333	Biológico con eliminación de fósforo	650	Gavarresa
OLOST	2000	Biológico	500	Olost
NAVARCLES/SANT	90873	Biológico con eliminación de nitrógeno y	14162	Llobregat

FRUITÓS/SANTPEDOR		fósforo		
PONT DE VILOMARA, EL	7083	Biológico con eliminación de nitrógeno	850	Llobregat
<b>Hasta el 1er afluente. Cardener</b>				
MONTVÍ DE BAIX	654	Biológico	115	Om
MOIÀ	9158	Biológico	1650	Castellnou
CASTELLBELL I EL VILAR	27840	Biológico	5568	Llobregat
MONISTROL DE MONTSERRAT	37510	Biológico	3300	Llobregat
ABRERA	115000	Biológico con eliminación de nitrógeno y fósforo	34500	Llobregat
ELS CASSOTS	167	Biológico	27	Sec
VILADECALLS (EST)	4950	Biológico	900	Gald
VILADECALLS (OEST)	3250	Biológico	650	Can Trullars
MARTORELL	61250	Biológico con eliminación de nitrógeno y fósforo	10500	Llops
<b>Hasta el 2o afluente. Anoia</b>				
<b>Hasta el 3er afluente. Riera de Rubí</b>				
LLEDONER	3149	Biológico con eliminación de nitrógeno y fósforo	472	Lledoner
CORBERA DE LLOBREGAT (Riera)				
SANT FELIU DE LLOBREGAT	373333	Biológico con eliminación de nitrógeno fósforo y tratamiento terciario	64000	Llobregat
PRAT DE LLOBREGAT, EL	2275000	Biológico con eliminación de nitrógeno fósforo y tratamiento terciario	420000	Emisario Submarino
GAVÀ/VILADECANS	38400	Biológico con eliminación de nitrógeno fósforo y tratamiento terciario	64000	Emisario Submarino
<b>1.CARDENER</b>				
COMA I LA PEDRA , LA	500	Biológico	225	Caderner
SANT LLORENÇ DE MORUNYS	3630	Biológico con eliminación de nitrógeno y fósforo	624	Pantà la Llosa del Cavall

SOLSONA	25100	Biológico con eliminación de nitrógeno y fósforo	6275	Riu Negre
CARDONA	9375	Biológico con eliminación de nitrógeno	1500	Caderner
SÚ	154	Biológico	30	Matamargó
FREIXENET	154	Biológico	30	Avellanosa
SÚRIA	15089	Biológico	1705	Caderner
MANRESA	196167	Biológico con eliminación de nitrógeno y fósforo	53500	Caderner
SANT SALVADOR DE GUARDIOLA	4167	Biológico con eliminación de nitrógeno	1000	Riera de Guardiola
<b>2. ANOIA</b>				
CASTELLVÍ DE ROSANES	1667	Biológico con eliminación de nitrógeno y fósforo	400	Torrent
GELIDA	7200	Biológico con eliminación de nitrógeno	1440	Anoia
SANT LLORENÇ D'HORTONS	2000	Biológico	400	Can Serra
MASQUEFA	19833	Biológico con eliminación de nitrógeno y fósforo	3400	Fontsanta
SANT SADURNÍ D'ANOIA	45134	Biológico con eliminación de nitrógeno y fósforo	4018	Riera de Lavernó
SANT PAU D'ORDAL	867	Biológico	140	Font Boc
ORDAL				
LAVERN	2090	Biológico con eliminación de nitrógeno	177	Can olivella
PLA DEL PENEDÈS	1770	Biológico	360	Mas Rovira
HOSTALETS DE PIEROLA, ELS	2083	Tractament tou	500	Claret
PIERA	18333	Biológico con eliminación de nitrógeno y tratamiento terciario	4000	Ginovarda
VALLBONA D'ANOIA	45552	Biológico con eliminación de nitrógeno y fósforo	7592	Anoia
CARME	4023	Biológico con eliminación de nitrógeno	518	Carne
MEDIONA	1500	Biológico	300	Riudetbilles
SANT PERE SACARRERA	1170	Biológico con eliminación de nitrógeno	293	Lavernó

RIUDEBITLLES	16500	Biológico	1800	Riu de Bitlles
CASTELLOLÍ	1350	Biológico con eliminación de nitrógeno	205	Torrent
IGUALADA	285666	Biológico con eliminación de nitrógeno y fósforo	20000	Anoia
JORBA	833	Biológico	200	Anoia
SANT MARTÍ DE TOUS	968	Biológico con eliminación de nitrógeno	240	Riera de Tous
SANT MARTÍ DE SESGUEIOLES	550	Llacunatge	150	Marti de Sesgueioles
CALAF	3550	Biológico con eliminación de nitrógeno	780	Anoia
<b>3. RIERA DE RUBI Y MARGEN IZQUIERDO</b>				
RUBÍ	135000	Biológico con eliminación de nitrógeno	27000	Rubí
TERRASSA	400000	Biológico con eliminación de nitrógeno y fósforo	75000	Rubí
VACARISSES	5280	Biológico con eliminación de nitrógeno y fósforo	1320	La Torre
MATADEPERA	8125	Biológico	1500	Batzuca
VALLVIDRERA	5500	Biológico con eliminación de nitrógeno y fósforo	1100	Vallvidrera