

# ***Protocolo de explotación del abastecimiento de Barcelona: un ejemplo de modelos para la optimización.***

*José Miguel Diéguez<sup>1</sup>, Luis López<sup>2</sup>, Jordi Pastor<sup>3</sup>*

*ACA<sup>1</sup>, SURGE<sup>2</sup>, Water Idea<sup>3</sup>*

*[jmdieguez@gencat.cat](mailto:jmdieguez@gencat.cat), [luislopez@surgesl.es](mailto:luislopez@surgesl.es), [jjp@wateridea.eu](mailto:jjp@wateridea.eu)*

## **1 Resumen**

El abastecimiento de agua potable a Barcelona y su región metropolitana —con una población de 4,7 millones de habitantes— tiene un alto grado de complejidad tanto técnica y económicamente, como de coordinación de agentes gestores regionales y locales, que debe abordarse mediante el uso de protocolos de explotación optimizados con modelos matemáticos. El ámbito aquí descrito es el gestionado por el ente de abastecimiento Aguas del Ter-Llobregat (en adelante ATLL).

Las principales fuentes de recursos hídricos para esta zona son las que se originan, subterránea o superficialmente, en las cuencas del Llobregat y del Ter —usualmente denominado sistema Ter-Llobregat— conjuntamente con el agua proveniente de la desalinización (ITAM). La incorporación de nuevas infraestructuras hidráulicas de abastecimiento en dicho ámbito para el 2010, con la ITAM del Llobregat, el desdoblamiento de la ITAM de la Tordera y su conexión a ATLL, la ampliación y mejora de la ETAP de Abrera con electrodiálisis reversible (EDR), la mejora de la ETAP de Sant Joan Despí con ósmosis inversa, los pozos recuperados para sequía, el uso de agua regenerada para actividades medioambientales, regadío e industrial, ha supuesto la oportunidad de modificar el régimen de explotación de las fuentes existentes de manera que se compatibilice la satisfacción de nuevas demandas respetando las restricciones ambientales y mejorando la calidad del recurso.

Por otra parte, los costes asociados a la explotación de los recursos varían de forma significativa en función de su origen, tanto en lo referente al coste económico para su obtención (implicando explotación, energía, mantenimiento, etc.) como al coste social y ambiental (como es el caso del río Ter y la disminución paulatina de sus trasvases). La utilización de las diferentes fuentes y su combinación para suministrar agua potable a la región metropolitana, también depende significativamente de la situación hídrica de aquellas, ya sea en la abundancia de la actualidad, como en la escasez padecida en la última década, con fuertes sequías en ambas cuencas.

A esta situación de por sí compleja, se agrega la interacción de diferentes actores que intervienen en todo el proceso: el Organismo regulador (la Agencia Catalana del Agua, en adelante ACA), el Organismo operador del sistema en alta (ATLL), los municipios representados a través de la Entidad Metropolitana (EMSHTR) y sus respectivas empresas de distribución, entre las cuales cabe destacar a Aguas de Barcelona (Agbar) por la singularidad que representa el abastecimiento a la capital. Los diversos intereses y objetivos comunes se han puesto de manifiesto y han logrado el equilibrio a través de un protocolo de explotación elaborado con la ayuda de un modelo matemático cuyas particularidades y aplicación se explicarán en este artículo. El modelo utilizado es SIM-V, de paso mensual y adaptado para ACA, que utiliza la serie histórica de aportaciones 1940-2008, así como las normas y umbrales establecidos en el Plan de Gestión de Sequías y Escasez, actualmente en redacción. El modelo analiza los posibles escenarios y se verifican las condiciones de demanda así como la garantía de abastecimiento. La herramienta se ha convertido en el catalizador de consenso entre los agentes implicados.

El régimen de explotación modelado establece un orden de prioridades según el escenario hídrico y la disponibilidad de los recursos de cada fuente, así como otras restricciones específicas como, por ejemplo, la dependencia de alguna fuente de recurso sobre determinados nodos de demanda (zonas cautivas) o limitaciones técnicas (capacidades de tratamiento, bombeo, transporte, etc.). También se utilizan mecanismos de comparación del riesgo con los costes de producción, complementándose con un análisis de sensibilidad de los parámetros.

Además de analizar la satisfacción de la garantía del suministro mediante diferentes escenarios, el modelo posibilita, ante todo, la minimización del riesgo de no cumplir con dicha garantía, ya que el enfoque que se utiliza es similar al que se viene empleando desde hace décadas para avenidas: el uso de probabilidades de superación de ciertos umbrales. En definitiva, el objetivo es maximizar la garantía de disponibilidad del recurso minimizando los costes asociados.

## 2 Antecedentes y motivación

### 2.1 El sistema Ter-Llobregat

Aunque el protocolo es un régimen de explotación que involucra recursos procedentes de diferentes orígenes para el ámbito regulado por ATLL, éste se nutre mayoritariamente de los recursos hídricos continentales englobados en el sistema hidrográfico Ter-Llobregat, que hay que describir para valorar la trascendencia y efectos en otros usuarios y restricciones ambientales.

El sistema Ter-Llobregat está formado, originalmente, por la cuencas de los ríos Ter y Llobregat, vinculados por la gestión de ATLL, el suministrador público de agua en alta de buena parte de la región metropolitana de Barcelona. Del mismo modo, también incluye las cuencas de la Tordera, el Besòs y el Foix las cuales son receptoras de sus aguas en una parte muy grande de sus ámbitos a la vez que también pueden compartir recursos propios con ATLL. Finalmente, el ámbito geográfico de este gran sistema también se extiende a los municipios de la Costa Brava, desde Palamós, y del Maresme y el Garraf, al recibir caudales de los ríos Ter o Llobregat, así como de la desalinizadora y el acuífero de la Tordera.

Las dos cuencas principales, Ter y Llobregat, suman 7.912 km<sup>2</sup> que aportan 1.492 hm<sup>3</sup> de agua en un año promedio, siendo realmente muy dispares las aportaciones de un año a otro: mínimos inferiores a 500 hm<sup>3</sup> y máximos superiores a 4.000 hm<sup>3</sup>.

Por tanto, todas las modelizaciones realizadas para fundamentar el protocolo resultante, han tenido en cuenta la topología, realidad de recursos y demandas globales de esta conglomerado de cuencas integradas en el ámbito o sistema Ter-Llobregat, y que sobrepasa la red regional de abastecimiento gestionada por ATLL.

### 2.2 El sistema de abastecimiento regional de Barcelona

El abastecimiento de agua en el área de Barcelona y en su zona de influencia se realiza mediante un sistema regional de abastecimiento en alta que utiliza principalmente recursos regulados de agua superficial de las cuencas del Llobregat (con los embalses de la Baells, Sant Ponç y la Llosa del Cavall) y del Ter (Sau, Susqueda y Pasteral). Completando éstos, se utilizan también numerosos y dispersos recursos locales, mayoritariamente subterráneos, entre los que hay destacar los del Delta del Llobregat, y a medida que se van recuperando, los de las cubetas del Besòs. Inaugurada en 2009, la desalinizadora del Llobregat también constituye una nueva fuente de recurso fundamental, y desde este año 2011 el sistema cuenta con una conexión desde la desalinizadora del Tordera.

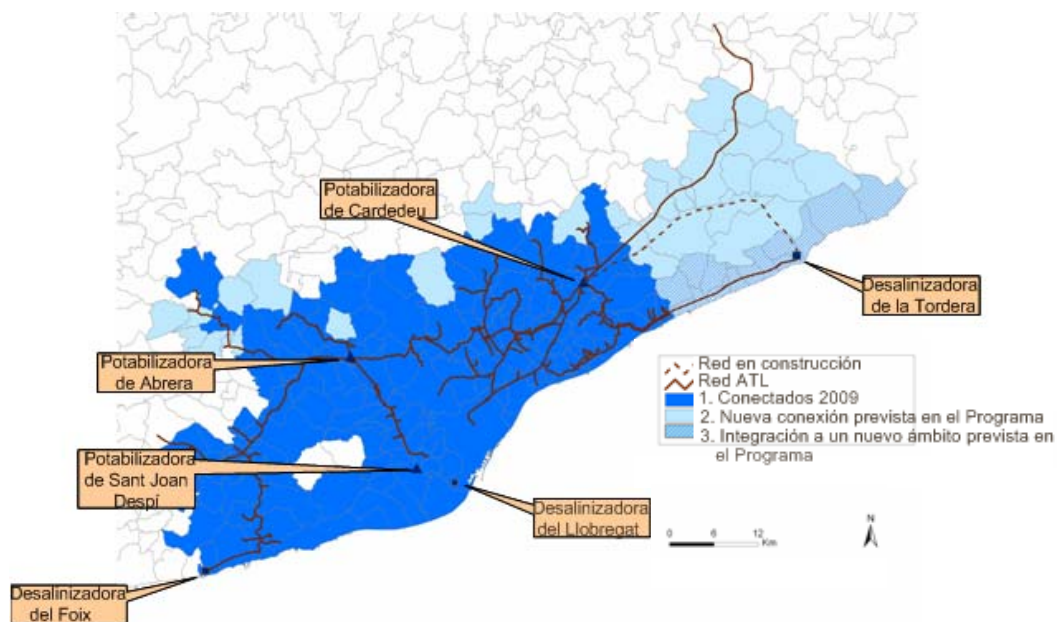


Figura 1 Esquema básico de las fuentes de recurso en el ámbito de ATLL, dentro del sistema de gestión Ter-Llobregat. Fuente: Plan de Gestión del Distrito de Cuenca Fluvial de Cataluña (ACA).

La potabilización de estos recursos (Figura 1) se realiza en las plantas de Sant Joan Despí y Abrera (subsistema Llobregat) y Cardedeu (subsistema Ter), con una capacidad de tratamiento total de 16,3 m<sup>3</sup>/s. La estación de tratamiento de agua potable (ETAP) de Sant Joan Despí alimenta directamente el área metropolitana de Barcelona, mientras que las aguas procedentes de Abrera y Cardedeu se distribuyen en alta hasta los puntos de conexión a otras redes municipales mediante la red regional explotada por ATLL. Es reciente la conexión del subsistema Tordera y, por tanto su desalinizadora, ya ampliada, del mismo modo que está entrando en servicio actualmente la desalinizadora del Llobregat.

En el ámbito de ATLL, que está formado por más de 140 municipios con una población que supera los 4,5 millones de habitantes, la demanda urbana actual es del orden de los 403 hm<sup>3</sup>/año (unos 13 m<sup>3</sup>/s equivalentes). El conjunto del sistema regional distribuye unos 350 hm<sup>3</sup>/año y el resto procede de recursos locales, fundamentalmente subterráneos. Esto representa una dotación ligeramente inferior a los 100 m<sup>3</sup>/hab/año o del orden de los 250 l/hab/día para el conjunto de usos urbanos e industriales (en alta). Se comparan en la tabla 1 estas demandas de ATLL con las totales del Sistema Ter-Llobregat comentado en el apartado anterior.

Tabla 1 Ámbitos de abastecimiento en el sistema Ter-Llobregat. Fuente: Plan de Gestión del Distrito de Cuenca Fluvial de Cataluña (ACA).

Ámbito estudio	Superf. km <sup>2</sup>	Población eq. en hab		Demanda hm <sup>3</sup> /año		Dotación l/hab/día		Principal Fuente recurso
		Actual	2015	Actual	2015	Actual	2015	
ATLL	2.614	4.711.612	4.880.502	403	423	235	238	42% Ter
Ter-Llob.	11.777	5.985.558	6.231.851	541	571	248	251	37% Ter

## 2.3 Las situaciones de sequía

Las sequías de los últimos años (1999, 2001-02, 2005 o 2007-2008) evidenciaron la precariedad del sistema que, hasta el momento, se ha resuelto gracias a la reducción de demandas no prioritarias (restricciones al riego y usos municipales), el esfuerzo de ahorro de los usuarios domésticos e industriales y al mantenimiento de unos caudales ambientales escasos que, a partir de ahora, se deberán compatibilizar con nuevas determinaciones del Plan Sectorial de Caudales de Mantenimiento aprobado por el Gobierno autonómico en el año 2006.

Estas situaciones extremas y el endurecimiento de las normas sanitarias sobre el agua potable (reducción del límite de trihalometanos) conllevaron la aceleración de medidas que aportasen nuevos volúmenes de agua al sistema en el conjunto de Cataluña, y en especial al sistema ATLL. La ejecución de esas medidas son las que cambiaron el escenario ordinario de trabajo, basado hasta el momento y mayoritariamente en el agua superficial regulada por los embalses del Ter y Llobregat y en una aportación de agua del acuífero del Delta del Llobregat variable, normalmente dependiendo de la calidad del agua cruda de entrada en las plantas del Llobregat.

## 2.4 Nueva realidad infraestructural y de demandas

Las nuevas infraestructuras hidráulicas de abastecimiento en el ámbito de servicio de ATLL operativas a partir de finales de 2010, permiten adoptar nuevos regímenes de explotación de las fuentes existentes hasta el momento y así asumir nuevas demandas de abastecimiento y restricciones ambientales, la adecuación a las normativas sanitarias y la mejora de la percepción ciudadana sobre la calidad de los recursos que se sirven a los sistemas de abastecimiento.

Estas nuevas infraestructuras son las siguientes:

- Nueva desalinizadora (ITAM) del Llobregat – capacidad de producción de hasta 60 hm<sup>3</sup>/anuales.
- Desdoblamiento de la desalinizadora (ITAM) del Tordera – aportación a la red ATLL hasta un máximo de 14 hm<sup>3</sup>/anuales con el método de explotación combinado con el acuífero del Tordera.
- Ampliación y mejora de la ETAP de Abrera con Electro Diálisis Reversible– tratamiento de hasta al 50% de la capacidad máxima de planta + aumento de la capacidad máxima de planta a 4 m<sup>3</sup>/s.
- Mejora de la ETAP de Sant Joan Despí con Ósmosis Inversa - tratamiento de hasta el 50% de la capacidad máxima de planta.
- Mejora parcial de la permeabilidad de la red de distribución mediante nuevas conducciones que permiten la interconexión de diferentes tramos de la red.
- No está considerado en este análisis la conexión Font Santa–Trinitat, no operativa hasta el 2011.

Las aportaciones de otros centros de producción menores, como las plantas del Besós y pozos de sequía recuperados durante el período 2007-08, han sido modelizadas de forma agregada según las propuestas de los planes de explotación que se distribuyeron a los titulares y a los concesionarios de los servicios. El aumento de las demandas previstas en un escenario de normalidad según el Plan de Gestión de Sequías y Escasez (en adelante PGSE) es debido a:

- Nuevas demandas inminentes por crecimiento de ATLL y otras redes del Llobregat.
- Restricciones ambientales en los embalses del Ter en cumplimiento del Plan Sectorial de Caudales de Mantenimiento (PSCM) de las Cuencas Internas de Cataluña.

Además de las demandas directas entendidas como incrementos de volumen a satisfacer por el sistema, existe la voluntad de reducir las aportaciones del río Ter hacia el sistema metropolitano, fruto del intenso debate suscitado en la cuenca cedente a raíz de los últimos episodios de sequía. Estas reducciones se han llegado a cuantificar como techos de trasvase y programar en el tiempo más allá del escenario de trabajo del presente protocolo.

### 3 Objetivo del protocolo y organismos que lo asumen

El objetivo del protocolo es establecer un régimen de explotación consensuado y optimizado para el sistema regional de abastecimiento de ATLL, **maximizando la disponibilidad con el cumplimiento estricto de las limitaciones sanitarias y la minimización de costes de producción**. Dicho régimen a da cobertura a la demanda de abastecimiento según los siguientes criterios:

- Optimizar los desembalses desde Sant Ponç y La Baells para que el recurso de origen Llobregat sea la base de las aportaciones a la demanda del ámbito de ATLL.
- Potenciar el uso de agua no regulada del Llobregat (aportaciones aguas abajo de los embalses).
- Explotar el acuífero del Delta del Llobregat de forma integrada con el resto de fuentes, en especial los embalses, regulando los volúmenes aportados en función del nivel de las reservas embalsadas y el estado del acuífero.
- Reducir las aportaciones anuales del río Ter.
- Incorporar de forma progresiva el agua de la ITAM Llobregat para generar un ahorro preventivo de las aportaciones de fuentes tradicionales (embalses y acuíferos).
- Incorporar de forma equilibrada los nuevos tratamientos en las plantas de producción de agua del Llobregat y la aportación ITAM para mejorar la calidad organoléptica del agua suministrada a la red.

A la complejidad técnica intrínseca del sistema, hay que añadir la dificultad de encontrar consenso cuando el ámbito de gestión se encuentra fragmentado entre diversos agentes: el regulador ambiental, ACA, el productor de agua y regulador de la red regional de abastecimiento (ATLL), el titular del abastecimiento en la área metropolitana (EMSHTR), el productor y operador en baja de Barcelona y una buena parte de su área metropolitana (Agbar) y el resto de titulares y operadores de redes en baja de la región servida por ATLL. Por tanto, fue también objeto del protocolo conseguir el soporte de los principales agentes mencionados (ACA, ATLL, EMSHTR y Agbar) que finalmente firmaron el protocolo, asumiendo así su aplicación en la explotación de plantas y grandes infraestructuras de transporte y regulación intermedia.

## 4 Modelo numérico

### 4.1 Modelo de base

Los análisis se realizan mediante un modelo matemático de simulación de la explotación mensual del sistema Ter – Llobregat. Este instrumento reproduce el funcionamiento del sistema bajo diferentes hipótesis de infraestructura, demandas o régimen de explotación, partiendo de las aportaciones en régimen natural a escala mensual en las subcuencas, la capacidad de extracción de aguas subterráneas y la producción de agua desalinizada según distintas hipótesis de gestión. La serie de aportaciones base utilizada es la determinada por ACA como serie de recursos naturales, entre los años hidrológicos 1940-41 y 2007-08, correctamente ajustada a la realidad hidrológica de cada masa de agua con la actual situación de captaciones o demandas.

El modelo realiza una contabilidad del agua: los recursos entrantes en un mes más las reservas almacenadas menos la evaporación y el desembalse equivalen al volumen embalsado a final de mes. El programa estima el

desembalse en función de las diferentes demandas atendidas y sus prioridades relativas. El modelo se resuelve numéricamente con el programa SIM-V, desarrollado originalmente por el Departamento de Recursos Hidráulicos de Texas (EE.UU.), en versión mejorada por los técnicos que han ejecutado este estudio y particularizada para tratar algunos aspectos singulares del sistema Ter – Llobregat. Se trata conceptualmente de un programa para simular la explotación mensual de un sistema de recursos hidráulicos. Por lo tanto, dado un conjunto de nudos (embalses, confluencias, tomas o vertidos) y arcos (ríos o conducciones) que representan esquemáticamente el sistema real, asigna los recursos disponibles a las demandas deseadas, respetando los condicionantes físicos de embalses, conducciones e instalaciones y el régimen de explotación deseado.

El programa no se limita a tantear una solución viable en cada mes, lo cual impediría simular regímenes de explotación complicados, sino que emplea un método interno de optimización que permite la máxima flexibilidad en la simulación. Como resultado, se obtienen las series mensuales de volúmenes embalsados, caudales circulantes, demandas cubiertas y déficits de demanda para los años simulados. Su análisis permite juzgar, en una hipótesis determinada, el nivel de servicio de las demandas.

Sin embargo, el tratamiento habitual de simulación de las series históricas de aportaciones como representativas de los recursos naturales disponibles, supone la aceptación de la hipótesis estadística de estacionariedad, es decir, que las características hidrológicas de la cuenca no cambiarán en el futuro. En el momento actual esta hipótesis se encuentra en entredicho ante la persistencia hiperanual de sequías y la evidencia del cambio climático, aunque no hay suficiente información para cuantificar su afección a las variables hidrológicas de los próximos años. Reconociendo esta limitación, se han estimado en cada sistema 9 series sintéticas con la misma media que la histórica y periodos secos más desfavorables (combinatoria de series alterando la secuencia anual cronológica), que se consideran igualmente probables y que introducen un coeficiente de seguridad ante la incertidumbre sobre la disponibilidad de aportaciones futuras.

El modelo se basa en un esquema que representa todos los elementos que afectan a la explotación del sistema: embalses, ríos, conducciones, pozos, desalinizadoras y demandas, que se expone en la figura siguiente.

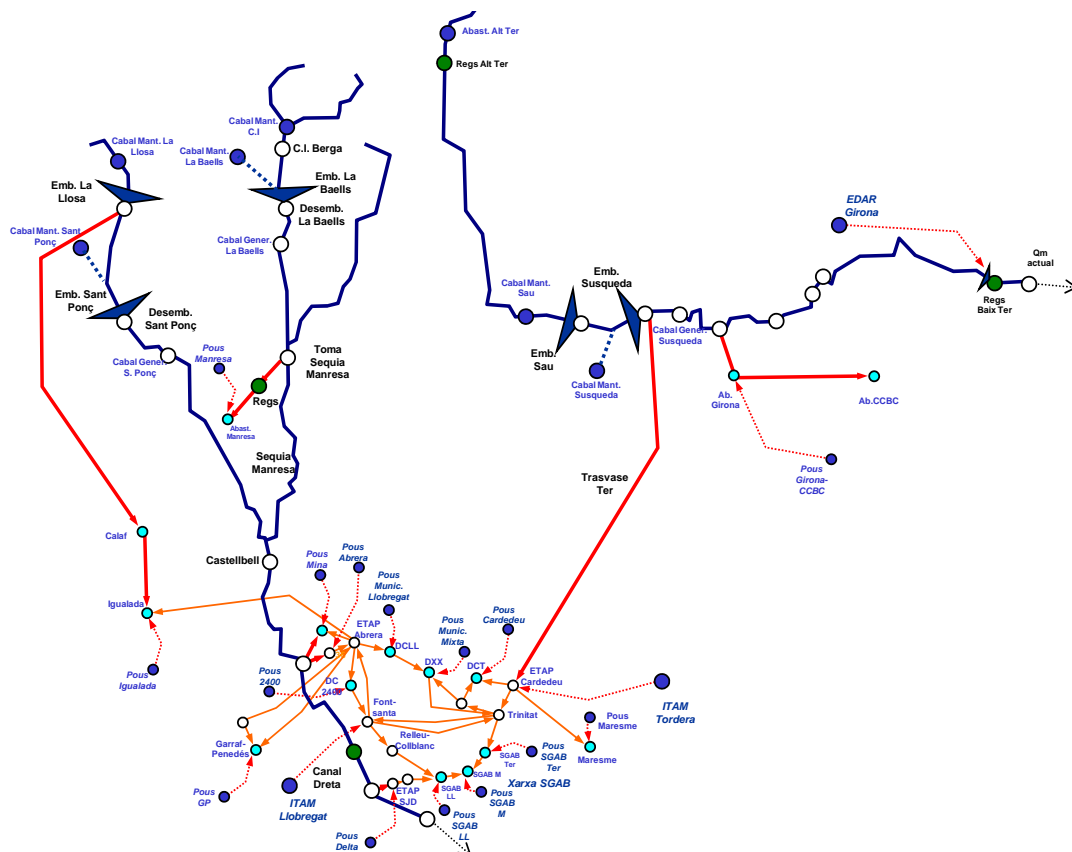


Figura 2 Topología del modelo utilizado para el Sistema Ter-Llobregat, donde se encuentra la red ATLL. Fuente: Plan de Gestión de Sequía y Escasez (ACA).

Con este planteamiento, la respuesta que ofrece el modelo con cada serie de aportaciones es la demanda servida en cada punto para una determinada hipótesis de demanda, infraestructura y régimen de explotación si se presentaran secuencias de años secos y húmedos similares a los que se dieron en el pasado. Por lo tanto, no pretende predecir lo que pasará en un cierto número de años a partir del momento actual, sino definir el riesgo de que se produzca un evento de determinada magnitud – reservas embalsadas, entrada y permanencia en sequía -. Este resultado permite el análisis comparado de costes de producción en cada hipótesis de gestión con el riesgo de entrada en sequía con el objetivo de maximizar la garantía de disponibilidad del recurso minimizando los costes asociados.

## 4.2 Análisis de hipótesis y valoración del riesgo y los caudales de producción asociados

Las hipótesis analizadas combinan distintos tipos de gestión de la desalinizadora del Llobregat (términos ITAM\_xxyy) con la implantación de los caudales de mantenimiento del BajoTer (término Qm) y la posibilidad de limitar de 8 a 5 m<sup>3</sup>/s la capacidad del trasvase del Ter a Barcelona (término Tr5). Al añadir la situación anterior a la puesta en servicio de la desalinizadora del Llobregat (término Actual), se obtienen 10 hipótesis que implican un volumen diferente de oferta y de demanda de agua. Las opciones de gestión de la desalinizadora del Llobregat son cuatro, sin ella, con funcionamiento continuo a producción máxima (término ITAM\_Max), y otras dos con producción variable – al máximo sobre el 50 (ITAM\_5080) o el 60% de reservas embalsadas (ITAM\_6080), al mínimo siempre sobre el 80% y producción lineal entre ambos límites. La desalinizadora del Tordera tiene una producción equivalente (Max, 5080, 6080) y envía al Ter – Llobregat sólo los excedentes tras atender sus demandas propias (máximo envío anual posible de 14 hm<sup>3</sup>).

Cada hipótesis se simula 10 veces, con la serie histórica y las 9 series equiprobables citadas en el apartado anterior, lo que permite calcular el riesgo de presentación de cualquier evento y los caudales de producción de las distintas fuentes de agua asociados a ella. Por ejemplo, la tabla adjunta presenta el riesgo de entrar en una sequía de 3 meses de duración en los próximos 6 y 12 meses:

Tabla 2 Probabilidad de entrar en sequía durante 3 meses consecutivos en el sistema Ter-Llobregat de forma conjunta o por subsistemas para cada hipótesis analizada, a dos escenarios temporales: 6 y 12 meses vista. (ACA)

Horizonte	A 6 MESES			A 12 MESES		
	Riesgo entrar Alerta	Riesgo entrar Excepcionalidad	Riesgo entrar Emergencia	Riesgo entrar Alerta	Riesgo entrar Excepcionalidad	Riesgo entrar Emergencia
Actual	23.8%	5.8%	0.4%	41.9%	11.3%	0.7%
Actual_Qm	38.3%	7.9%	1.5%	62.0%	15.2%	2.9%
ITAM_Max	7.6%	0.8%	0.0%	14.7%	1.6%	0.0%
ITAM_Max_Qm	10.6%	1.5%	0.1%	20.0%	3.1%	0.1%
ITAM_6080	8.4%	1.0%	0.0%	16.1%	2.0%	0.0%
ITAM_5080	8.7%	1.2%	0.0%	16.6%	2.5%	0.0%
ITAM_6080_Qm	14.7%	1.8%	0.4%	27.3%	3.6%	0.7%
ITAM_5080_Qm	14.1%	1.6%	0.4%	26.3%	3.2%	0.7%
ITAM_6080_Qm_Tr5	13.7%	1.2%	0.0%	25.5%	2.5%	0.0%
ITAM_5080_Qm_Tr5	14.1%	1.1%	0.0%	26.1%	2.2%	0.0%

De forma muy breve se definen los escenarios de sequía. Alerta, es el tramo donde se inician las restricciones de usos no dependientes de la red de abastecimiento urbano, por ejemplo agrícola. La excepcionalidad supone intensificar las restricciones a los mismos usuarios, ampliando el espectro de afectados a usos no prioritarios de las redes de abastecimiento urbanas, como usos municipales o riego de jardines privados; a nivel agrícola, las dotaciones se restringen a valores de supervivencia de arbolado y los caudales ambientales son reducidos. La emergencia representa la posibilidad de afecciones severas a todos los usuarios de una red, por ejemplo mediante cortes horarios de suministro.

Los análisis posteriores de sensibilidad del modelo, han demostrado que los valores de riesgo que difieren en menos de un 2% pueden considerarse equivalentes, de igual manera que aquéllos menores al 1% pueden evitarse mediante medidas de gestión ordinaria del sistema.

### 4.3 El mix de agua en red

La casuística analizada, no solamente por las hipótesis de estudio, sino por la alta variabilidad de aportaciones naturales entre años hidrológicos en las series comentadas, hace que la aportación de cada centro de producción (ETAP Abrera, ETAP Sant Joan Despí, ETAP Cardedeu –Ter–, ITAM Tordera, ITAM Llobregat, Pozos Delta Llobregat, Pozos Besós, Pozos sequía y ERA Llobregat –reutilización para riego–) sea totalmente cambiante. Esto obliga a un análisis estadístico de los valores para poder definir las frecuencias de producción de cada centro, los años tipo, ya sean medios, o naturales, eventos extremos de sequía y húmedos, etc. Por ejemplo, un mes cálido de un año normal las ETAPs del Llobregat se encontrarán en su producción máxima con agua desmineralizada parcialmente por el uso de los nuevos tratamientos instalados, una mínima aportación de agua desalinizada de las ITAMs por estar las reservas de los embalses en buen estado y una minimización de la captación del Ter. No obstante, en un mes frío durante un evento de sequía, con una clara descompensación de reservas entre Ter y Llobregat (Llobregat más agotado), el trasvase del Ter aumenta, la desalinización funciona a máximos y las aportaciones de recursos subterráneos extraordinarias pueden estar activas en función del escenario. En la figura siguiente se ejemplifica el diagrama de aguas empleadas en cada momento del estado de los recursos.

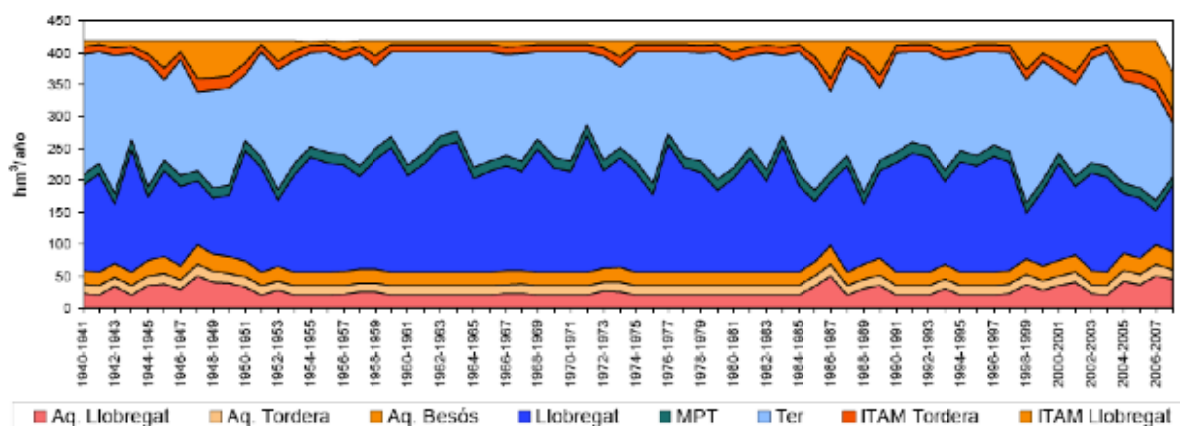


Figura 3 Evolución del mix aportado por cada fuente de recurso para satisfacción de la demanda de la red regional abastecida por ATLL en la simulación de la serie base de recursos. Fuente: ACA.

Como ejemplo de esta variabilidad, se expone en la tabla siguiente el caso del agua desalinizada, por ser esta la más costosa en producción. Al cruzar la valoración del riesgo con los caudales de producción de las desalinizadoras, se obtienen tablas como la siguiente, que refleja el incremento de demanda de cada hipótesis, los caudales de producción de las desalinizadoras para varios percentiles, la frecuencia de déficit de servicio a la demanda del Área Metropolitana y los costes de producción del mix de aguas en año tipo (medio).

Tabla 3 Valores de producción de agua desalinizada (percentiles) en la serie base de recursos analizada, en comparación con cada hipótesis analizada. Se presentan también los déficits de la demanda ordinaria de ATLL y los costes de producción del mix resultante (año medio). Fuente: ACA.

Variables de estudio	Dem. extras	Caudales previstos para ITAMs Llobregat+Tordera en media anual (m <sup>3</sup> /s)				Frecuencia Déficit ATLL	Coste Mix Producc. ATLL <sup>1</sup>
		año medio	P 30%	P 50%	P 70%		
Hipótesis	hm <sup>3</sup> /año	año medio	P 30%	P 50%	P 70%	%	€/m <sup>3</sup>
Actual	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	2.1%	0.17
Actual_Qm	28.5	0.00	0.00	0.00	0.00	3.3%	0.189
ITAM_Max	15.4	1.31	0.00	2.00	2.24	0.0%	0.210

<sup>1</sup> Los costes aquí presentados son los fijos+variables exclusivamente de la producción (sin distribución) del mix resultante en cada caso para un año tipo. Estos costes incluyen las plantas de producción (ETAPs y ITAMs) gestionadas por ATLL y por Agbar.

ITAM_Max_Qm	43.9	1.43	0.20	2.07	2.27	0.6%	0.210
ITAM_6080	15.4	0.90	0.58	0.70	0.84	0.2%	0.196
ITAM_5080	15.4	0.84	0.58	0.69	0.81	0.4%	0.196
ITAM_6080_Qm	43.9	1.08	0.65	0.77	1.29	0.7%	0.205
ITAM_5080_Qm	43.9	1.00	0.62	0.74	1.06	1.0%	0.205
ITAM_6080_Qm_Tr5	43.9	1.09	0.65	0.77	1.34	8.7%	0.205
ITAM_5080_Qm_Tr5	43.9	1.00	0.63	0.75	1.06	8.8%	0.205

Como se observa en el gráfico siguiente que compara los valores de riesgo, costes y sobredemandas asumidas, versus hipótesis, los valores más equilibrados se sitúan con regímenes de explotación progresivo para las ITAMs y sin limitaciones permanentes en las conducciones del Ter, aunque esto no supone mantener o aumentar estos recursos hacia el sistema, sino que pueden ser reducidos.

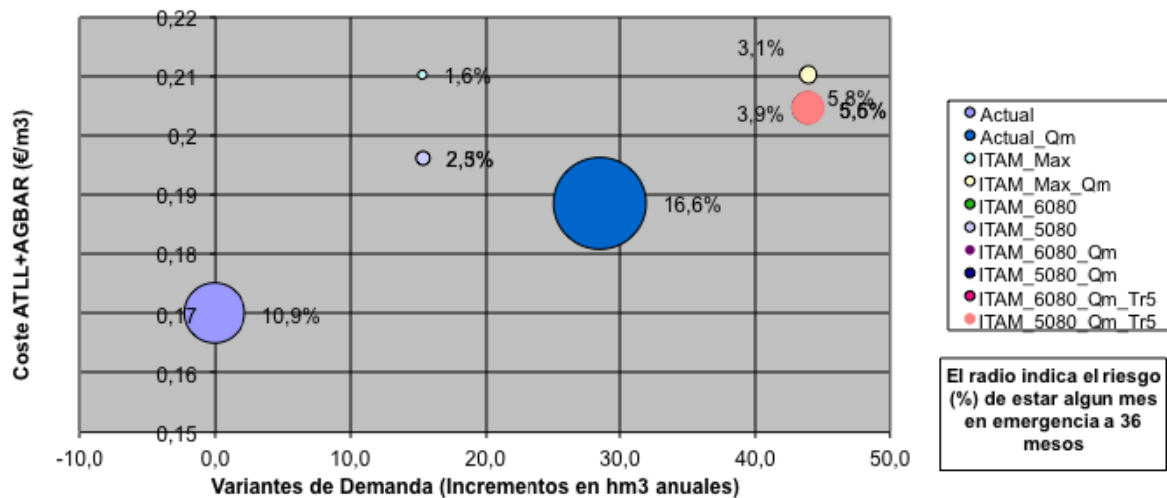


Figura 4 Análisis de riesgos, costes y demandas asumidas para cada hipótesis. Fuente: ACA.

## 5 Protocolo de explotación aprobado

Con fecha de 29 de abril de 2010 se aprueba y rubrica el protocolo de explotación entre las partes implicadas. El contenido del protocolo, supera lo modelizable y establece también normas de explotación complementarias que rigen el mayor aprovechamiento del recurso no regulado en aras de mejorar la eficiencia del sistema.

### Para ETAP de Abrera:

Para un nivel de reservas en los embalses superior al valor fijado para la excepcionalidad (umbrales del PGSE): Caudal objetivo 1,5 m³/s en cómputo mensual. Este caudal se modificará respondiendo a los siguientes criterios:

- Compensación (% similares) de las reservas existentes en los subsistemas Ter y Llobregat.
- Caudal máximo puntual = máximo concesional/técnico
- Funcionamiento de la EDR: modulación mensual para alcanzar los valores de calidad necesarios.
- El volumen mínimo de traspaso de agua al depósito de la Font Santa será, en régimen habitual, el técnicamente necesario para no generar problemas de calidad en el tramo final.

En excepcionalidad: Caudal objetivo 2,0 m³/s en cómputo mensual. El resto de condicionantes se mantienen.

### Para ETAP Sant Joan Despí:

Para un nivel de reservas en los embalses superior al valor fijado para la alerta según los umbrales del PGSE: el caudal objetivo será 3,5 m³/s en cómputo mensual. Dada su posición en el tramo final del río, este caudal se modificará respondiendo a los siguientes criterios:

- Compensación (% similares) de las reservas existentes en los entre subsistemas Ter y Llobregat.



- Máximo aprovechamiento del recurso superficial no regulado
- Caudal máximo puntual = máximo concesional/técnico
- Funcionamiento de la OI: modulación mensual para alcanzar los valores de calidad necesarios.

En alerta el caudal objetivo será 2,5 m<sup>3</sup>/s en cómputo mensual y en excepcionalidad 1,5 m<sup>3</sup>/s, manteniéndose el resto de condicionantes.

### **Pozos del acuífero del Delta del Llobregat<sup>2</sup>:**

Desde la máxima capacidad de los embalses hasta la prealerta inclusive, la aportación anual será de entre 10 y 22 hm<sup>3</sup>/año en función del estado del acuífero y si se está en año de recarga priorizada (post-sequía) o no. En alerta el valor se incrementará hasta el rango de 22 a 29 hm<sup>3</sup>/año y, de 31 a 41 hm<sup>3</sup>/año en excepcionalidad.

También actuarán complementando la aportación del Llobregat frente a problemas de fluctuación horaria de la demanda, problemas de calidad del agua del río o incidencias de explotación que afecten la producción de las ETAPs del Llobregat (Abrera y Sant Joan Despí) o limitaciones en la red de transporte.

### **Desalinizadoras Llobregat y Tordera<sup>3</sup>:**

Si el estado de los recursos embalsados del sistema Ter-Llobregat se encuentran sobre el 80% de su capacidad, la desalinizadora del Tordera no aportará agua al sistema ATLL, restringiendo su producción al servicio de la red local. En el caso de la ITAM del Llobregat, esta producirá el volumen mínimo equivalente a 20.000 m<sup>3</sup>/día.

Dicho volumen aportado se incrementará para ambas de forma lineal (acomodándose a los escalones de producción técnicos) hasta llegar a su máxima producción cuando las reservas de los embalses lleguen al umbral de pre-alerta (60%). A partir de ese momento, la aportación de estas infraestructuras será la máxima mensual equivalente contabilizando mantenimientos. En todo caso, el aprovechamiento de caudales desalinizados hasta el máximo según el sistema lineal de aportaciones definido cumplirá las siguientes restricciones:

- Reducción del volumen aportado por existir mayor disponibilidad de recurso superficial del río Llobregat o limitaciones de la red de transporte.
- Aumento sobre el volumen objetivo para hacer frente a la fluctuación de la demanda o problemas de calidad del agua del Llobregat o incidencias de explotación de la producción de las ETAPs o LA red.

### **Trasvase del Ter:**

El trasvase del Ter, en cualquier escenario, responderá a satisfacer las demandas cautivas Ter y modular el resto de la aportación al sistema en la zona mixta según los criterios de:

- Compensación (% similares) entre subsistemas Ter y Llobregat.
- Complemento de la aportación del Llobregat frente a problemas de fluctuación horaria de la demanda o problemas de calidad del agua del Llobregat o incidencias de explotación que reduzcan o paren la producción de las ETAPs del Llobregat (Abrera y Sant Joan Despí) o limitaciones en la red de transporte.

No obstante, la realidad de la evolución diaria del recurso tanto a nivel cuantitativo como cualitativo, en especial en la zona Llobregat hace necesaria la incorporación de elementos de flexibilización como los siguientes:

- Aprovechamiento máximo del recurso superficial disponible en el Llobregat, sea regulado o no regulado como criterio general de cumplimiento en cualquier escenario.
- Compensación de las paradas y las reducciones de producción o paradas sobrevenidas de ETAPs' al Llobregat según el criterio de orden: (1) Acuífero Llobregat – (2) ITAM Llobregat – (3) Superficial Ter, siempre que técnicamente sea factible según la capacidad de respuesta de cada origen.

Además, juntamente con el criterio de prelación de las fuentes, es necesario mejorar y homogeneizar la calidad del agua producida. En este sentido, se ajustará el grado de uso de los nuevos tratamientos de las plantas del

---

<sup>2</sup> Se hace constar los valores del plan de explotación de los pozos de Agbar al Delta del Llobregat, pero en la resto del ámbito ATLL se incorporarán los pozos de sequía y ajuste de las explotaciones subterráneas habituales ATLL según los planes de explotación propuestos a cada titular.

<sup>3</sup> Excepto en casos de parada de la ETAP de Abrera donde pueden existir traspasos puntuales de agua de Font Santa a Abrera (límite de bombeo 0,5 m<sup>3</sup>/s), como régimen general toda el agua de la ITAM Llobregat habrá de distribuirse desde Font Santa a la red del ámbito de operación de Agbar.

Llobregat porque, añadiendo la exigencia de cumplimiento de la garantía sanitaria, estas se adecúan para hacer patente a los usuarios una mejor percepción ciudadana sobre la calidad organoléptica del agua servida en el punto de consumo, mediante el ajuste de los parámetros conductividad, demanda de cloro (4h) y Trihalometanos.

## 6 Conclusiones

La nueva realidad de las infraestructuras hidráulicas de abastecimiento permite asumir nuevas demandas de abastecimiento y restricciones ambientales y, mejorar la garantía a los clientes de ATLL, disminuyendo el riesgo de entrada en emergencia del sistema Ter-Llobregat y las afecciones que eso representa tanto para el abastecimiento como para el resto de usuarios.

La desalinización representa un sistema de aportación de agua de garantía ante eventos extremos que puede ser asumida en los costes globales de producción, pero que no debe aportarse constantemente a la capacidad máxima de producción de las plantas porque encarece el mix de agua aportado y no mejora el grado de disponibilidad global de agua del sistema.

El propio protocolo establece que los cambios significativos de las demandas servidas o de las infraestructuras en explotación dan pie a la revisión del mismo. El siguiente reto inminente es la modificación del protocolo incorporando la nueva infraestructura de transporte que une los depósitos de Font Santa y Trinidad, conducción que cambia radicalmente el abastecimiento de la zona de demanda históricamente cautiva del Ter, siendo ésta intercambiable por agua Llobregat (incluyendo ITAM) sobre 2 m<sup>3</sup>/s .

De igual manera, la incorporación de la ITAM Tordera y el intercambio de agua del Ter por agua Llobregat (o ITAM Llobregat) a cotas más altas de las ordinarias para esta fuente, aconsejan realizar la revisión de costes no sobre los costes de producción, sino todos los costes de variables, incluyendo las elevaciones y transportes.

La solución al abastecimiento de la regional metropolitana de Barcelona es un complejo sistema de recursos múltiples, de temporalidades y evoluciones muy distintas y que demuestran la necesidad de una gestión integrada, y el máximo conceso entre los agentes implicados en el servicio.

## 7 Referencias bibliográficas

Martin, Quentin W., (1982). *SIM-V Multireservoir simulation and optimization model. Program Documentation and Users Manual*. Texas Department of Water Resources. EE.UU.

Agència Catalana de l'Aigua (2010). *Plan de Gestión del Distrito de Cuenca Fluvial de Cataluña*. Departament de Medi Ambient i Habitatge. Generalitat de Catalunya.

Agència Catalana de l'Aigua (2009). *Plan de Gestión de Sequía y Escasez*. Departament de Medi Ambient i Habitatge. Generalitat de Catalunya. En proceso de revisión.

Agència Catalana de l'Aigua (2008). *Memòria de la Sequera del 2007-2008*. En: *Memòria de 2008* (págs. 57-73). Departament de Medi Ambient i Habitatge. Generalitat de Catalunya.

Agència Catalana de l'Aigua (2007). *Actualización de las series de recursos en régimen natural*. Departament de Medi Ambient i Habitatge. Generalitat de Catalunya. Documento interno.

Agència Catalana de l'Aigua (2005). *Pla Sectorial de Cabals de Manteniment a les Conques Internes de Catalunya*. Departament de Medi Ambient i Habitatge. Generalitat de Catalunya.