

## Proyecto SUDOE-AQUIFER

### E 3.3.1 Caracterización de los ciclos hidrológicos de las zonas piloto



Documento  
final

Entrega:  
31 de diciembre de 2022

# Índice

1. Introducción .....	2
2. Caracterización del ciclo hidrológico.....	2
2.1. Contexto.....	2
2.1.1. Agua superficial .....	4
2.1.2. Agua subterránea.....	5
2.1.3. Agua regenerada .....	9
2.1.4. Agua desalinizada.....	10
3. Plan especial de sequía .....	10
4. Herramientas innovadoras para la mejora del ciclo del agua.....	15

## 1. Introducción

La comprensión de los ciclos hidrológicos es esencial para garantizar condiciones adecuadas para la toma de decisiones por parte de las autoridades competentes en materia de gestión de recursos hídricos. Además de estas entidades, también se entiende oportuno que la sociedad en general, y los diferentes usuarios del recurso hídrico en particular, puedan comprender el funcionamiento de los ciclos hidrológicos aplicados a su territorio.

Por otro lado, para que los resultados del trabajo realizado en cada área piloto puedan interpretarse y transmitirse adecuadamente entre diferentes regiones y países, es esencial que estos resultados se enmarquen teniendo en cuenta las características y el funcionamiento de los ciclos hidrológicos en cada una de las zonas objeto de estudio. De esta manera, dentro del alcance del proyecto, se realizará el levantamiento y caracterización de los diferentes ciclos hidrológicos para cada una de las zonas piloto.

## 2. Caracterización del ciclo hidrológico

El ámbito de gestión en el que juega un papel relevante el caso de estudio de la CUADLL en el proyecto Sudoe es Barcelona y su área metropolitana, con una extensión de 636 km<sup>2</sup> y el abastecimiento a una población de 3.2 millones de habitantes.

El conocimiento del ciclo hidrológico en el ámbito de estudio es clave para aprovechar todos los recursos de agua disponibles y su uso combinado, garantizando así el suministro de agua para los diferentes usos establecidos en este territorio.

### 2.1. Contexto

Los orígenes del agua que conforman el ciclo del agua en el Área Metropolitana de Barcelona son el agua superficial, agua subterránea, agua desalinizada y agua reutilizada.

El principal uso del agua es para el abastecimiento a la población de Barcelona y su área metropolitana. El agua también se usa para el sector industrial no doméstica, el sector agrícola y usos municipales (Figura 1).

El uso conjunto y coordinado de los diferentes orígenes de agua permite garantizar este suministro.

El consumo medio anual de agua es de 270 hm<sup>3</sup>/año, distribuidos de la siguiente manera:

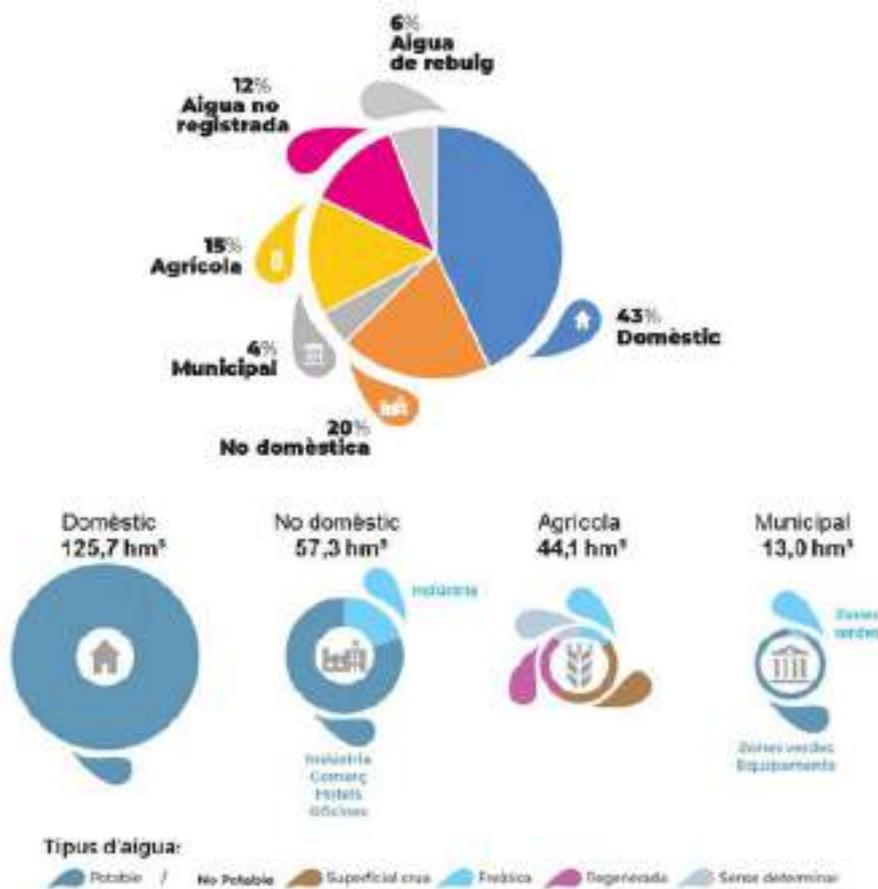


Figura 1. Consumo anual de agua en el área metropolitana de Barcelona del año 2019 (imagen izquierda), y demanda de agua en el área metropolitana de Barcelona en el año 2019 (imagen derecha). Fuente: AMB.

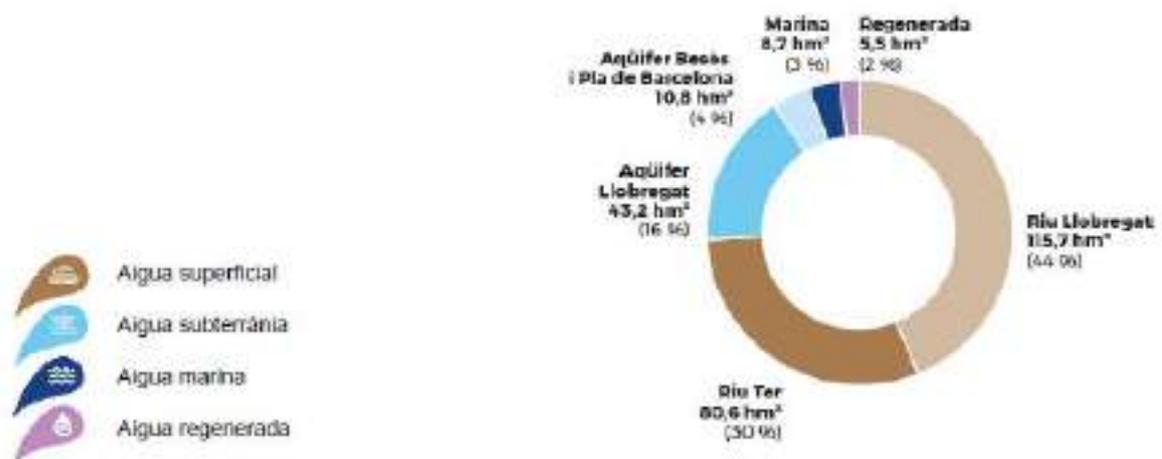


Figura 2. Porcentaje de los orígenes de agua que intervienen en el consumo de agua en Barcelona y su área metropolitana. Fuente: AMB. Año 2020.

El ciclo hidrológico de la zona de estudio se compone de agua superficial, agua subterránea, agua regenerada y agua desalinizada. Todas ellas contribuyen a garantizar el suministro a la población de Barcelona y su Área Metropolitana, además del sector industrial y agrícola. El porcentaje de contribución se explica con detalle en los apartados siguientes.

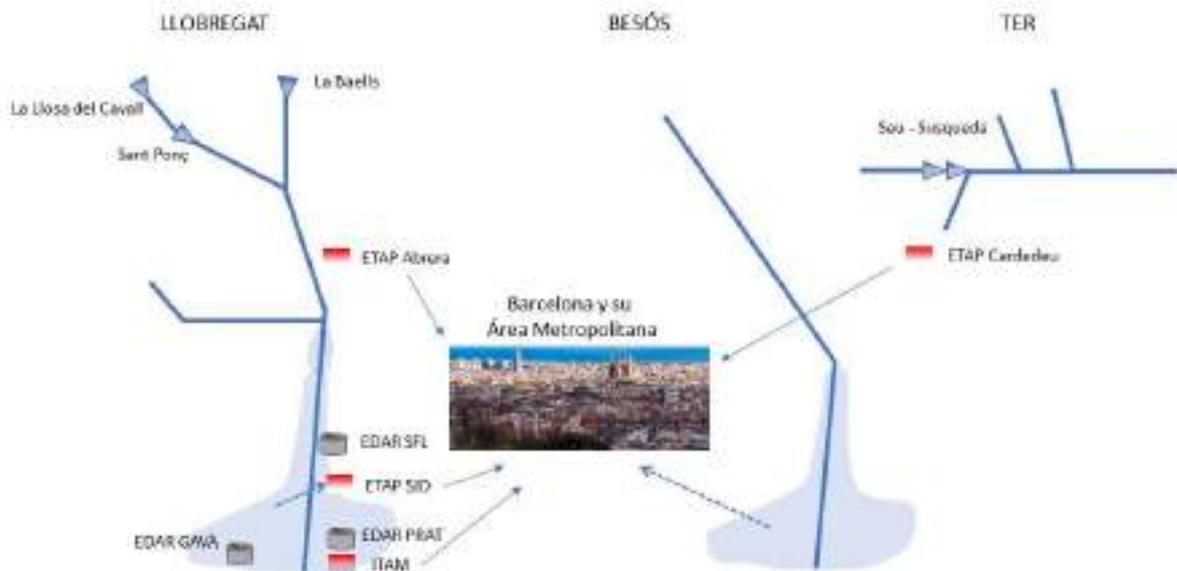


Figura 3. Esquema del ciclo hidrológico

### 2.1.1. Agua superficial

El agua superficial tiene un papel relevante en el ciclo hidrológico de la zona de estudio. Los principales cursos hídricos que intervienen son el río Llobregat, el río Ter y el río Besós, los cuales, a nivel de gestión, conforman el Sistema Ter-Llobregat-Besós (Figura 4). Los dos primeros disponen de embalses de regulación, el tercero no.

El uso principal del agua superficial es para el abastecimiento, con un consumo medio de más de 200 hm<sup>3</sup>/año. Este volumen de agua es captado del río Llobregat, 115 hm<sup>3</sup>/año en Abrera y Sant Joan Despí, donde el agua se deriva a las plantas de potabilización allí ubicadas (ETAP en adelante). Del río Ter se trasvasa del orden de 80 hm<sup>3</sup>/a y también es tratada en la ETAP de Cardener. Por lo tanto, la cuenca del río Llobregat aporta un 45% de agua al sistema para abastecimiento, y la cuenca del río Ter aporta entre un 25 y un 30% de agua al sistema.

El agua superficial del río también se utiliza para el uso agrícola. Con un consumo anual de 25 hm<sup>3</sup>, se deriva agua del río Llobregat, a la altura de Pallejà, a través de un canal de riego llamado Canal de la Dreta, donde más de 100 agricultores usan el agua para el riego de 1052 ha (dato del Plan de gestión de Distrito de cuenca Fluvial de Catalunya 2022-2027).

El río Besós es un río cercano a Barcelona. Actualmente, sus aguas no forman parte del ciclo hidrológico de la zona, aunque es un potencial recurso hídrico en el ámbito metropolitano. A futuro, se debería estudiar la viabilidad del uso del agua, ya que más de 70% del agua que



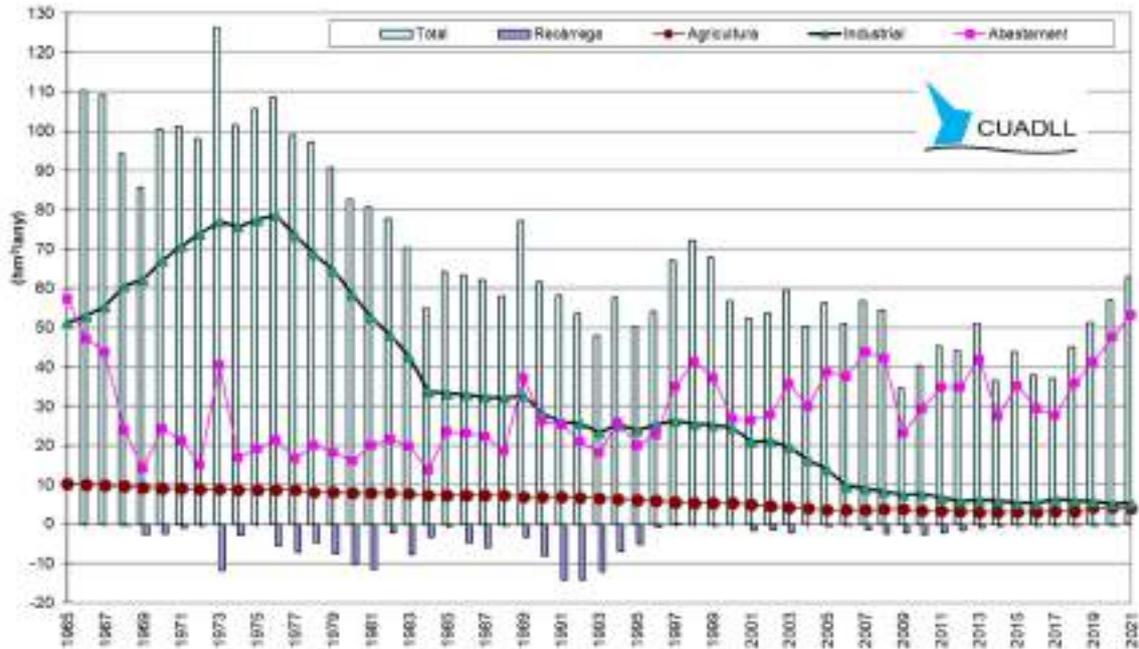


Figura 5. Evolución de las extracciones del acuífero del valle Bajo y delta del Llobregat.

El uso del agua subterránea para el abastecimiento tiene lugar, principalmente, cuando no hay disponibilidad de agua superficial, ya sea por cantidad o por calidad de la misma. Es en estos momentos cuando el gestor de la ETAP extrae agua del acuífero y la potabiliza para enviar a la red de distribución. En este caso, las aguas subterráneas tienen un papel estratégico en el abastecimiento a la población, ya que garantiza el suministro a Barcelona y su área metropolitana.

El sector industrial y el sector agrícola también hacen uso de las aguas subterráneas, mediante la concesión de agua que otorga la Agencia Catalana del Agua.

El acuífero de la Cubeta de Sant Andreu de la Barca presenta unas dimensiones inferiores al acuífero anterior comentado, del cual se extrae un volumen medio anual de 5.5 – 6 hm<sup>3</sup>. En este caso el mayor uso es el industrial (Figura 6).

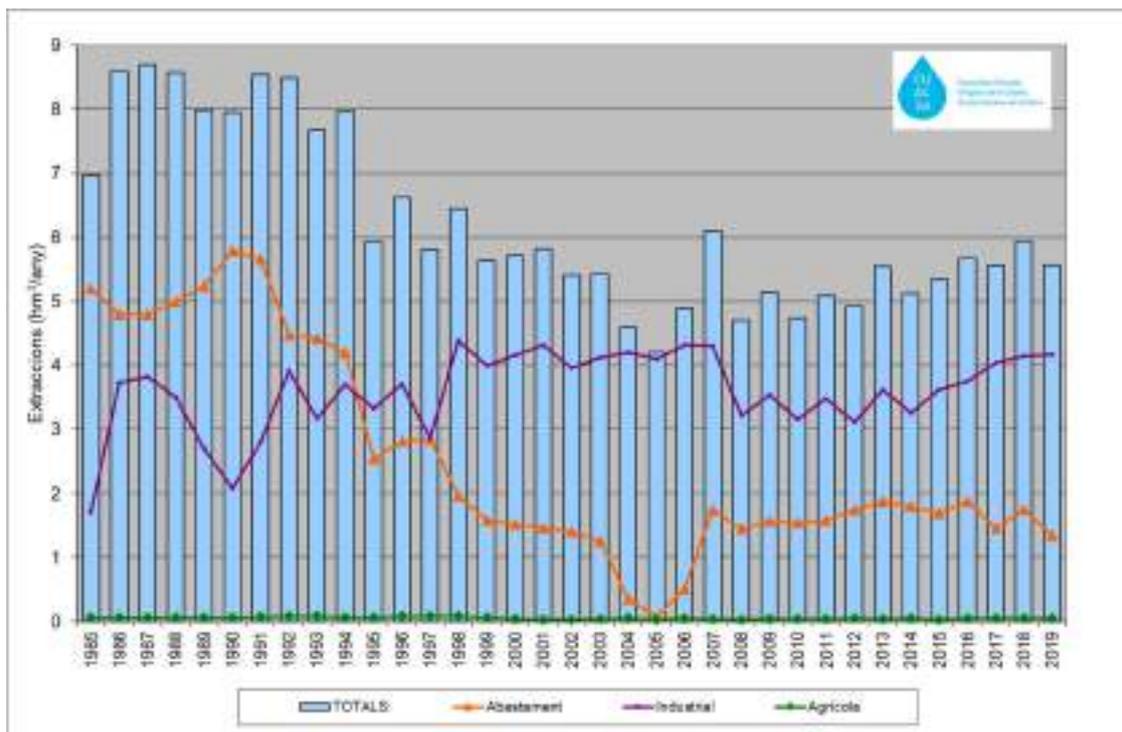


Figura 6. Evolución de las extracciones del acuífero de la Cubeta de Sant Andreu de la Barca.

El tercer acuífero presente en el área de estudio es el del Besós que, actualmente, e igual que su río, está subexplotado. De hecho, existe una problemática de filtraciones en infraestructuras subterráneas que tienen que ser drenadas mediante pozos de drenaje, con un volumen medio extraído anualmente de 18 hm<sup>3</sup>. Este volumen de agua podría entrar en juego en el ciclo del agua.

El acuífero del Valle Bajo y Delta del Llobregat, según el Plan de Distrito de Cuenca Fluvial de Catalunya, está en mal estado, tanto cuantitativo como químico. Dado que, en momentos de escasez de recursos hídricos o mala calidad, el agua subterránea juega un papel relevante, se deben aplicar unas medidas correctoras o compensatorias para que la masa de agua pase a estar en buen estado y ofrezca la disponibilidad del recurso cuando sea necesario sin que se malmeta la masa de agua.

Las medidas correctoras o compensatorias para conseguir el buen estado de la masa de agua subterránea son:

- Balsas de recarga mediante agua de río o agua regenerada (1 hm<sup>3</sup>/año mediante las balsas ubicadas en Sant Vicenç dels Horts y 1 hm<sup>3</sup>/año mediante las balsas de Molins de Rei)
- Inyección de agua del río pretratada en pozos (50 L/s o 1.2 hm<sup>3</sup>/año)
- Inyección de agua regenerada tratada con ósmosis inversa en la barrera hidráulica contra la intrusión salina (máximo de 5.5 hm<sup>3</sup>/año)

El volumen total recargado mediante estas tres infraestructuras de recarga artificial es potencialmente de 8 hm<sup>3</sup>/año, una parte importante podría proceder íntegramente de agua regenerada y, por tanto, supone un incremento de recurso en el acuífero.

El esquema de la Figura 7 muestra el ciclo del agua en la gestión del acuífero del Valle Bajo y Delta del Llobregat.



Figura 7. Esquema del ciclo hídrico del acuífero del Valle Bajo y Delta del Llobregat dentro de la zona de estudio

La figura siguiente muestra el balance de masa del acuífero del Valle Bajo y Delta del Llobregat, diferenciando un acuífero superficial y uno principal. Éste último es el que se usa para el abastecimiento a la población, además del sector industrial y en menor medida para el sector agrícola.

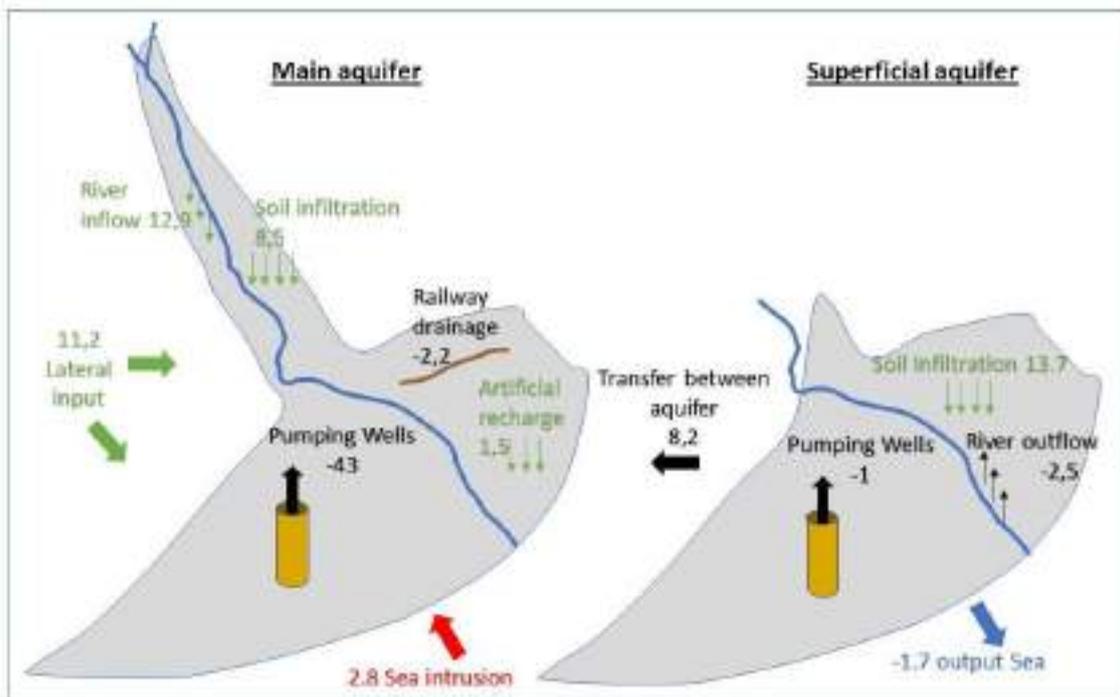


Figura 8. Balance hídrico 2010 – 2016 del acuífero del Valle Bajo y Delta del Llobregat (valores en  $hm^3/año$ )

### 2.1.3. Agua regenerada

En el ámbito de estudio existen tres EDARs que depuran el agua y un porcentaje del total se le aplica un tratamiento más avanzado para después poder ser reutilizada, cambiando su denominación a ERA.

- ERA de Gavà-Viladecans:  $5.5 \text{ hm}^3$  son derivados a un biorreactor de membranas con eliminación de nutrientes (nitrógeno y fósforo), que es el agua que se vierte a una zona natural y agrícola, por un lado, como medida medioambiental, y por otro lado para el riego de cultivos.
- EDAR Sant Feliu: Esta depuradora está equipada con un tratamiento terciario de filtración y desinfección y tiene la capacidad de depurar anualmente  $26.3 \text{ hm}^3$ . Todo el volumen se retorna al medio hídrico justo aguas abajo de la ETAP de Sant Joan Despí y una parte pequeña se usa para riego agrícola.
- ERA del Prat: Unos  $100 \text{ hm}^3/año$  de agua pasan por un tratamiento terciario avanzado de decantación lamelar, y se usa para aumentar el caudal circulante por el río Llobregat, para las zonas húmedas del delta y para el riego agrícola. En el caso de la inyección de agua en la barrera hidráulica contra la intrusión marina, el agua pasa además por una ultrafiltración, una ósmosis inversa parcial y finalmente por UV y una cloración para su regeneración (máximo  $5.5 \text{ hm}^3/año$ ).

El agua regenerada, como se ha explicado, tiene un uso principalmente para el riego agrícola de la zona. Adicionalmente, se usa para aumentar el caudal del río Llobregat para cumplir con su caudal ecológico en su tramo final cuando los embalses están por debajo del 60% de recurso disponible. En momentos de prealerta de sequía el agua se vierte aguas abajo de la potabilizadora de Sant Joan Despí. En caso de sequía, el agua regenerada se vierte 4 km aguas arriba de Sant Joan Despí para que se mezcle con agua del río y la potabilizadora de Sant Joan Despí capte el agua suficiente del río para su tratamiento y distribución a la población. Se trata de un aprovechamiento indirecto.

Potencialmente, el agua regenerada jugará un papel importante en el sector industrial de la zona, aunque actualmente no tiene lugar. La sustitución será, mayoritariamente, agua subterránea por agua regenerada.

#### 2.1.4. Agua desalinizada

La desalinizadora presente en la zona de estudio, ubicada en El Prat de Llobregat, tiene una capacidad máxima de desalinización de 2 m<sup>3</sup>/s (60 hm<sup>3</sup>/año).

El grado de producción de agua desalada viene condicionada por el estado de los embalses del sistema Ter-Llobregat, y juega un papel relevante en momentos de sequía.

En resumen, el agua convencional para el abastecimiento a la población de Barcelona y su área metropolitana es el agua superficial del sistema Ter-Llobregat. En momentos de escasez del recurso superficial o por mala calidad del agua, los recursos no convencionales toman un papel relevante. En primer lugar, las aguas subterráneas sustituyen el agua superficial en momentos puntuales de mala calidad del agua del río. En momentos de escasez hídrica también se explotan las aguas subterráneas con una intensidad que dependerá de unos indicadores piezométricos. El agua desalinizada y el agua regenerada también tienen un papel relevante en momentos de sequía, donde su aportación vendrá condicionada por el estado de los embalses.

### 3. Plan especial de sequía

El proyecto AQUIFER SUDOE tiene por título “instrumentos innovadores para la gestión integrada de escasez creciente de recursos hídricos. En este apartado se explica cómo afecta esta escasez al ciclo hidrológico.

Las cuencas internas de Cataluña disponen de un Plan especial de sequía, con el objetivo de hacer frente a una situación de escasez de agua mediante el uso combinado de las diferentes fuentes de agua existentes y garantizar así el abastecimiento a la población.

Una sequía se puede definir como la falta persistente de precipitación. La acumulación de los déficits de agua se ve reflejada en la evolución de las reservas de los embalses.

En la zona de estudio, entran en juego los embalses del sistema Ter y Llobregat de forma conjunta, con una capacidad máxima de almacenamiento de 611 hm<sup>3</sup> (Figura 9).

En función del porcentaje de agua en los embalses, el Plan de Sequía establece un conjunto de actuaciones y medidas de prevención, gestión y ahorro a aplicar para garantizar el suministro a la población. Los escenarios de sequía son:

	Normalidad	Prealerta	Alerta	Excepcionalidad	Emergencia
Estado sistema Ter-Llobregat	>60%	<60%	<40%	<25%	<16%

Tabla 1. Porcentaje del estado de los embalses Ter-Llobregat y los escenarios de sequía.

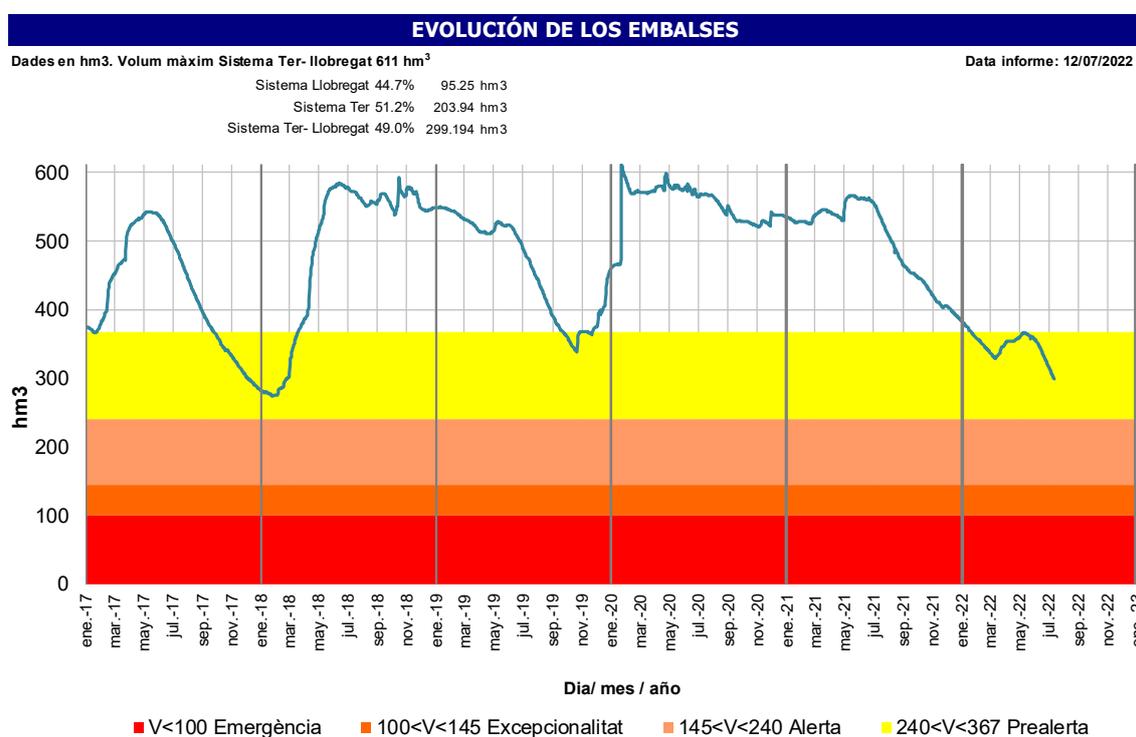


Figura 9. Porcentajes de almacenamiento de agua en los embalses del sistema Ter-Llobregat.

Tal y como se ha explicado en los apartados anteriores, los escenarios de sequía comportan un incremento del uso de las aguas no convencionales, como son el aumento de extracción de aguas subterráneas, el aumento de la desalinización de agua de mar, el uso de agua regenerada para incrementar el caudal circulante por el río y para el sector agrícola. El incremento de estos recursos viene regulado por la Figura 10 siguiente:

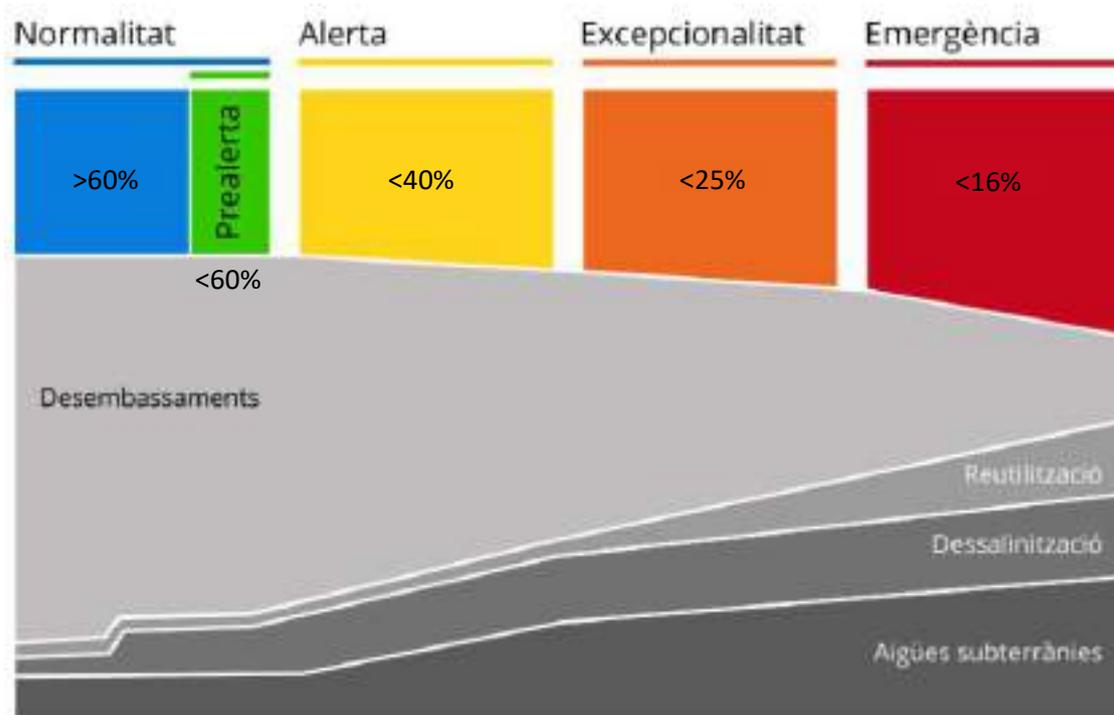


Figura 10. Esquema explicativo de la gestión de las diferentes fuentes de reserva de agua en función del escenario de sequía en el que se encuentra.

#### Escenario de Normalidad:

Cuando el estado de los embalses está por encima del 60%, el caudal de mantenimiento del río es el desembalsado.

#### Escenario de Prealerta:

Cuando el estado de los embalses está por debajo del 60%, se intensifica el seguimiento del estado de las reservas y acciones para sensibilizar en el ahorro de agua, además de comprobar el estado de los pozos recuperados y las instalaciones de regeneración de agua.

Se activa el bombeo de agua regenerada hasta aguas abajo de la potabilizadora de Sant Joan Despí para satisfacer el caudal de mantenimiento del último tramo del río Llobregat (tramo deltaico).

#### Escenario de Alerta:

Cuando el estado de los embalses está por debajo del 40%, la producción de agua desalinizada se incrementa progresivamente del 50-75%, y se incrementa el régimen de explotación de los acuíferos.

Se activa el bombeo de 2m<sup>3</sup>/s de agua regenerada 8 km aguas arriba de la planta y se mezclan con aproximadamente 2 m<sup>3</sup>/s de desembalse. El río se queda seco en el último tramo.

En situación de Alerta la captación del río del canal de la derecha es substituida por agua regenerada.

*Escenario de Excepcionalidad:*

Cuando el estado de los embalses está por debajo del 25%, la producción de agua desalinizada se incrementa progresivamente del 75-100%. Además, se autoriza a extraer el régimen máximo establecido en los acuíferos.

*Escenario de Emergencia:*

Cuando el estado de los embalses está por debajo del 16%, las alternativas de agua ya están aportadas al sistema en su máxima capacidad y, por tanto, sólo se pueden aplicar medidas de ahorro y restricciones en el uso del agua.

La Tabla 2 muestra el caudal de desalinización que se envía al sistema en función del estado de los embalses.

Reservas Ter – Llobregat	ETAM LLOBREGAT (m <sup>3</sup> /s)
>75%	0.22
50-75%	0.76
25-50%	1.74
<25%	1.90

Tabla 2. Caudal de desalinización en función de los embalses

El régimen máximo de explotación establecido en los acuíferos está controlado por un indicador piezométrico, que condiciona el porcentaje de agua aportado al sistema y evita daños irreparables a los mismos. En el caso del Delta del Llobregat, la bajada abrupta de los niveles del acuífero provocaría una salinización de las aguas subterráneas por intrusión marina. En consecuencia, se debe aplicar una medida correctora a esta acción para minimizar el impacto de una extracción intensiva por un período largo de tiempo, como es la barrera hidráulica.

Esta barrera hidráulica está formada por 14 pozos de inyección, en los que se inyecta agua regenerada de la ERA del Prat. El caudal de inyección diario viene condicionado por un indicador piezométrico que determina el estado cuantitativo del acuífero, tal y como se observa en la Figura 11.

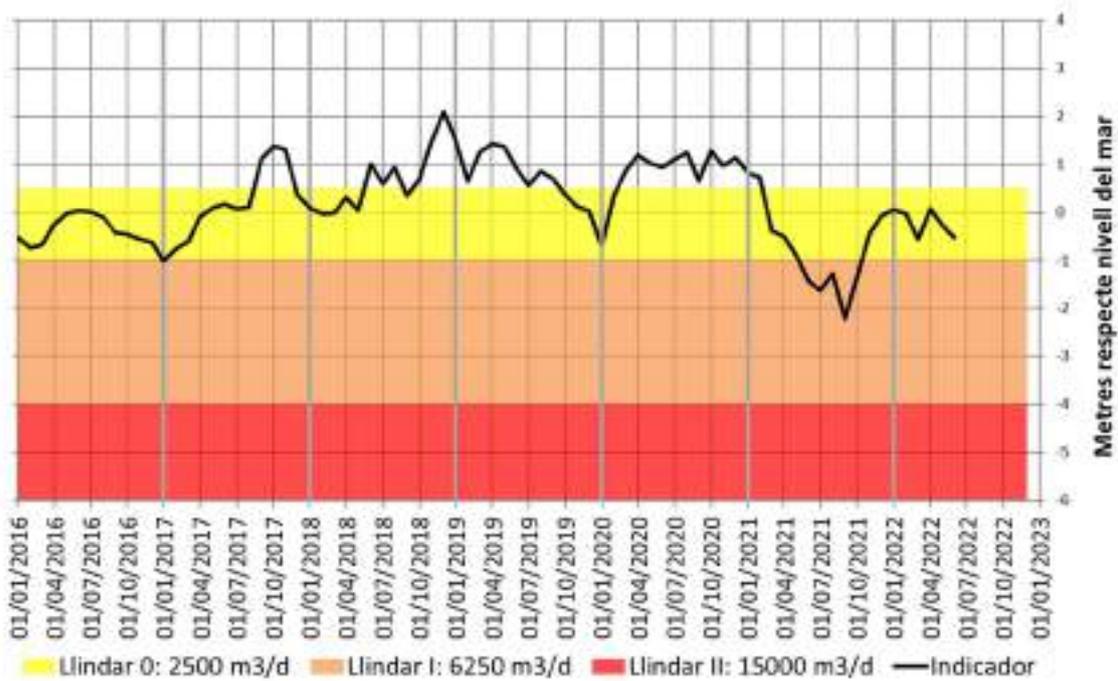


Figura 11. Caudal de inyección en la barrera hidráulica en el acuífero profundo deltaico y su indicador piezométrico

El uso del agua regenerada, tanto para el incremento del caudal circulante por el río como la sustitución del agua para riego, viene condicionada por los escenarios de sequía, tal y como se esquematiza en la Figura 12.



Figura 12. Esquema de reutilización según el plan de sequía

#### 4. Herramientas innovadoras para la mejora del ciclo del agua

El proyecto AQUIFER SUDOE está enfocado en los instrumentos innovadores para la gestión integrada de escasez creciente de recursos hídricos.

Como se ha podido comprobar en los apartados anteriores, las aguas no convencionales tienen un papel relevante en la gestión de una sequía. Por esto, es de gran importancia que las infraestructuras estén en su mejor estado para que sean lo más eficaces posibles en momentos de escasez hídrica. Consecuentemente, es necesario un mantenimiento de las infraestructuras, tanto la de desalinización como las de regeneración de agua. En el caso de las aguas subterráneas, es imprescindible que los acuíferos estén en buen estado, tanto cuantitativo como químico, para ser un recurso estratégico en lo que a garantía de suministro se refiere en momentos de escasez hídrica.

En el caso del Llobregat la herramienta innovadora que se está evaluando es la recarga de acuíferos correspondiente a la actividad 2.3.

La propuesta de recarga dentro del proyecto Sudoe se basa en la adecuación medioambiental de un tramo del lecho del río Llobregat, con el objetivo de aumentar la recarga del agua del río mediante una infraestructura blanda y verde.

Se han construido unas balsas de recarga en el lecho del río, que permiten recargar derivando agua del río por gravedad, alrededor de 1 hm<sup>3</sup>/año.

La escasez de agua en momentos de sequía impacta directamente sobre las aguas subterráneas, ya que la principal fuente de recarga es el agua del río. Por tanto, si el caudal circulante por el río disminuye, la infiltración hacia el acuífero también disminuye. La existencia de las balsas de recarga en el lecho del río permite que, en momentos de avenida, donde el caudal del río se ve aumentado, se aumenta la superficie útil de infiltración mediante las balsas para favorecer a la recarga del acuífero, aumentando así el recurso subterráneo.

Es importante que en momentos de normalidad hídrica se trabaje en la mejora del estado de los acuíferos, ya que se ha demostrado que éstos juegan un papel relevante en la garantía de suministro de Barcelona y su Área Metropolitana.

Alternativamente dado que cuando se entra en una situación de sequía el río no dispone de caudales excedentarios para la recarga, se plantea la necesidad de recargar con agua regenerada.