

Módulo IV: Abastecimientos y Saneamientos Urbanos

eoi

**GESTIÓN DEL  
ABASTECIMIENTO**  
Autor: Ricardo González Igualada

## Sumario

### 1.- INTRODUCCIÓN.

### 2.- RECURSOS.

- 2.1.- Aportaciones de los ríos.
  - 2.1.1.- Meteorología.
- 2.2.- Fuentes complementarias de suministro.
- 2.3.- Capacidad de los embalses del sistema.
- 2.4.- Reservas de agua al inicio del periodo estudiado.

### 3.- GESTIÓN.

- 3.1.- Gestiones a largo plazo.
  - 3.1.1.- Sequías hidrológicas y Escenarios de disponibilidad de recursos.
  - 3.1.2.- Afecciones al suministro.
  - 3.1.3.- Fases de gestión del abastecimiento.
- 3.2.- Gestiones a medio plazo.
- 3.3.- Gestiones a corto plazo.
- 3.4.- Creación de Bases de datos.

## **GESTIÓN DEL ABASTECIMIENTO.**

### **1.- INTRODUCCIÓN.**

Como dice la Carta del Agua del Consejo de Europa “Sin agua no es posible la vida”. El agua es de tal importancia que cualquier actividad humana (industrial, ganadera, agrícola o de servicios) está condicionada por su necesaria disponibilidad. Ya Aristóteles (384-322 a.C.) consideraba que “la primera necesidad para el buen gobierno de los pueblos, es el abundante abastecimiento de las aguas”.

Cerca del 97% del agua existente en el planeta Tierra se halla en los mares y océanos, el 2% se sitúa en los casquetes polares, y el 1% restante queda repartido entre el subsuelo, ríos y lagos continentales.

Por tanto, la pequeña cantidad de agua utilizada por el hombre debe ser gestionada con sumo cuidado y siguiendo metodologías que nos permitan su máximo aprovechamiento, tanto en situaciones de abundancia como en las de escasez.

En todo sistema de abastecimiento hay dos factores fundamentales que miden la eficacia de su gestión: la demanda de los usuarios y los recursos de que se dispone para atender a dicha demanda.

Debido a que la evolución de la demanda es objeto de estudio en otra asignatura del curso, nosotros partiremos del supuesto de dar por conocida la demanda y nos centraremos en la gestión de los recursos.

Una vez establecida la demanda a satisfacer, tendremos que analizar los recursos con que contamos para atender el suministro requerido en cada momento; por tanto podemos establecer que “una gestión correcta del abastecimiento será aquella que nos permita utilizar los recursos disponibles (embalses y fuentes complementarias de suministro), mediante la explotación más eficiente de los mismos, para atender a la demanda, al tiempo que nos facilite la respuesta previsible del sistema a corto, medio y largo plazo”.

Para conseguir esa gestión eficaz es imprescindible conocer una serie de datos básicos sobre los recursos disponibles, como son:

Aportaciones de los ríos de las distintas cuencas suministradoras.

Fuentes complementarias de suministro (trasvases y pozos).

Capacidad de los embalses del sistema (una o varias cuencas).

Reservas de agua al inicio del periodo estudiado.

## **2.- RECURSOS.**

Generalmente, los abastecimientos de agua potable y regadíos se fundamentan en el aprovechamiento de las aguas superficiales de los ríos mediante el almacenamiento de las mismas en los embalses o utilizando las que de forma natural se almacenan en los lagos.

En muchos casos estos recursos no son suficientes para atender las demandas, y entonces hay que recurrir a los transvases, o a la extracción de las aguas subterráneas para completar el déficit de las superficiales.

También existen múltiples sistemas de abastecimiento que el único recurso existente es el de agua de pozos. Al ser objeto de otra asignatura el tema de aguas subterráneas, nosotros nos centraremos en las aguas superficiales, considerando como un recurso complementario las aguas subterráneas a utilizar en situaciones que lo requieran.

### **2.1.- Aportaciones de los ríos.**

Para una gestión eficaz resulta imprescindible conocer, de la mejor forma posible, el comportamiento de los ríos en cuanto a sus aportaciones se refiere. Para ello, es necesario disponer de la serie histórica de sus aportaciones extendida a la mayor cantidad de años hidrológicos (1 de octubre a 30 de septiembre) de que podamos disponer datos.

Estos datos, expresados en hm<sup>3</sup>, se ordenan por meses y años hidrológicos, se presentan en forma de tabla y son los correspondientes a:

- Aportaciones totales mensuales.
- Aportaciones medias mensuales.
- Aportaciones máximas mensuales.
- Aportaciones mínimas mensuales.
- Aportaciones totales anuales.
- Aportación media anual.
- Aportación máxima anual.
- Aportación mínima anual.

Es conveniente ordenar estas series por años hidrológicos, debido a que en este espacio de tiempo las curvas de aportaciones acumuladas presentan, en cuanto a su forma, una gran similitud todos los años, ya que se inician una vez pasado el período de estiaje. La Tabla 1 y la Figura 1 son un ejemplo de todo lo anterior.

**TABLA 1**

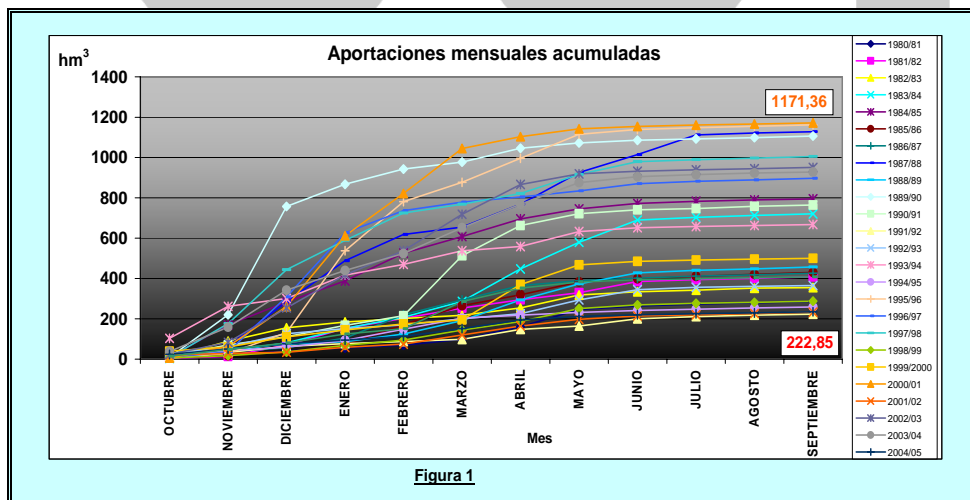
**APORTACIONES TOTALES DE LOS RÍOS (hm<sup>3</sup>) POR MESES Y AÑO HIDROLÓGICO**

| AÑO HIDROLÓGICO | OCTUBRE       | NOVIEMBRE     | DICIEMBRE     | ENERO         | FEBRERO       | MARZO         | ABRIL         | MAYO          | JUNIO         | JULIO        | AGOSTO       | SEPTIEMBRE   | TOTAL AÑO      |
|-----------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|--------------|--------------|--------------|----------------|
| 1980/81         | 9,15          | 8,28          | 24,65         | 13,51         | 13,61         | 29,25         | 62,79         | 84,57         | 18,59         | 8,17         | 7,29         | 5,95         | 285,78         |
| 1981/82         | 5,27          | 8,33          | 56,98         | 82,35         | 49,66         | 50,17         | 42,08         | 34,37         | 55,93         | 9,46         | 5,90         | 6,96         | 407,47         |
| 1982/83         | 7,86          | 81,73         | 66,44         | 29,00         | 16,57         | 16,03         | 36,09         | 64,42         | 16,68         | 7,05         | 10,02        | 3,44         | 355,32         |
| 1983/84         | 3,81          | 34,88         | 43,15         | 71,33         | 54,78         | 78,84         | 160,38        | 132,75        | 109,43        | 14,42        | 8,18         | 8,42         | 720,36         |
| 1984/85         | 11,73         | 158,14        | 114,27        | 104,14        | 137,92        | 82,50         | 87,10         | 49,12         | 27,20         | 11,03        | 6,33         | 5,68         | 795,17         |
| 1985/86         | 7,13          | 10,46         | 18,57         | 35,54         | 99,53         | 93,37         | 55,14         | 62,74         | 15,92         | 12,13        | 10,03        | 9,96         | 430,54         |
| 1986/87         | 18,56         | 18,38         | 20,03         | 48,15         | 115,40        | 74,46         | 70,33         | 24,03         | 12,66         | 10,02        | 6,51         | 8,34         | 426,86         |
| 1987/88         | 16,65         | 48,40         | 221,33        | 204,03        | 130,16        | 36,43         | 113,13        | 157,30        | 88,79         | 98,35        | 8,36         | 6,96         | 1127,79        |
| 1988/89         | 17,29         | 34,61         | 22,12         | 12,04         | 39,14         | 66,26         | 102,07        | 79,70         | 54,52         | 13,26        | 6,06         | 10,75        | 457,91         |
| 1989/90         | 8,60          | 211,96        | 536,30        | 110,25        | 75,40         | 34,89         | 68,58         | 26,94         | 12,50         | 6,51         | 6,64         | 7,42         | 1106,00        |
| 1990/91         | 16,11         | 54,72         | 39,88         | 56,65         | 48,39         | 297,17        | 149,55        | 58,72         | 19,30         | 7,07         | 10,61        | 5,83         | 764,00         |
| 1991/92         | 13,21         | 20,70         | 29,66         | 13,78         | 9,69          | 10,82         | 49,55         | 17,15         | 35,41         | 11,36        | 6,68         | 4,83         | 222,85         |
| 1992/93         | 28,67         | 32,61         | 64,35         | 25,82         | 18,08         | 31,20         | 24,69         | 68,45         | 50,13         | 12,18        | 4,87         | 4,05         | 365,09         |
| 1993/94         | 103,28        | 158,71        | 39,04         | 115,26        | 53,63         | 68,20         | 20,61         | 74,35         | 19,15         | 5,97         | 4,95         | 4,76         | 667,90         |
| 1994/95         | 9,94          | 32,64         | 17,30         | 33,36         | 55,73         | 54,52         | 14,35         | 13,90         | 9,61          | 6,76         | 5,89         | 5,35         | 259,36         |
| 1995/96         | 4,90          | 22,75         | 103,99        | 406,29        | 242,85        | 96,30         | 119,50        | 118,56        | 23,82         | 9,13         | 6,99         | 6,42         | 1161,48        |
| 1996/97         | 8,01          | 28,97         | 271,25        | 318,17        | 110,17        | 42,49         | 24,91         | 30,12         | 35,90         | 12,46        | 7,04         | 7,49         | 896,98         |
| 1997/98         | 7,97          | 168,82        | 266,68        | 145,63        | 134,87        | 43,65         | 53,88         | 94,18         | 63,54         | 10,16        | 7,46         | 7,94         | 1004,77        |
| 1998/99         | 7,12          | 10,92         | 17,90         | 32,54         | 26,22         | 50,51         | 41,76         | 64,33         | 17,35         | 7,76         | 5,01         | 6,11         | 287,54         |
| 1999/2000       | 39,81         | 20,69         | 49,69         | 34,57         | 29,63         | 19,89         | 175,15        | 97,87         | 17,53         | 5,74         | 4,68         | 4,68         | 500,32         |
| 2000/01         | 5,60          | 57,05         | 198,36        | 350,91        | 210,07        | 222,47        | 59,18         | 38,73         | 11,44         | 7,21         | 5,12         | 5,22         | 1171,36        |
| 2001/02         | 20,35         | 8,29          | 6,37          | 23,49         | 15,48         | 45,70         | 44,61         | 32,69         | 17,03         | 6,58         | 5,26         | 7,82         | 233,66         |
| 2002/03         | 24,20         | 59,20         | 170,99        | 164,74        | 118,91        | 180,01        | 148,45        | 52,60         | 12,58         | 6,81         | 5,77         | 6,18         | 950,43         |
| 2003/04         | 38,20         | 120,33        | 183,86        | 97,21         | 84,17         | 127,65        | 116,61        | 107,36        | 29,89         | 9,16         | 7,89         | 5,36         | 927,70         |
| 2004/05         | 23,95         | 26,34         | 26,08         | 18,25         | 18,00         | 39,00         | 42,93         | 17,40         | 7,96          | 4,93         | 4,58         | 5,33         | 234,74         |
| 2005/06         | 14,70         | 32,85         | 32,90         | 45,01         | 24,96         | 134,89        | 67,22         | 30,21         | 10,71         | 5,71         | 4,47         | 4,23         | 407,86         |
| <b>MEDIA</b>    | <b>18,16</b>  | <b>56,50</b>  | <b>101,63</b> | <b>99,69</b>  | <b>74,35</b>  | <b>77,95</b>  | <b>75,02</b>  | <b>62,79</b>  | <b>30,52</b>  | <b>12,28</b> | <b>6,64</b>  | <b>6,36</b>  | <b>621,89</b>  |
| <b>MAXIMA</b>   | <b>103,28</b> | <b>211,96</b> | <b>536,30</b> | <b>406,29</b> | <b>242,85</b> | <b>297,17</b> | <b>175,15</b> | <b>157,30</b> | <b>109,43</b> | <b>98,35</b> | <b>10,61</b> | <b>10,75</b> | <b>1171,36</b> |
| <b>MINIMA</b>   | <b>3,81</b>   | <b>8,28</b>   | <b>6,37</b>   | <b>12,04</b>  | <b>9,69</b>   | <b>10,82</b>  | <b>14,35</b>  | <b>13,90</b>  | <b>7,96</b>   | <b>4,93</b>  | <b>4,47</b>  | <b>3,44</b>  | <b>222,85</b>  |

La serie histórica representada, de 26 años de longitud, corresponde a la de los ríos de la sierra de Guadarrama: Lozoya, Jarama, Guadalix, Manzanares Guadarrama-Aulencia y Cofio, y que gestiona el Canal de Isabel II (Madrid) mediante 14 embalses situados en sus cuencas.

Como puede apreciarse, los valores medios mensuales acumulados mes a mes configuran un año medio de 621,9 hm<sup>3</sup>. El valor máximo anual de 1171,4 hm<sup>3</sup> corresponde al año 2000/01 y el mínimo de 222,8 hm<sup>3</sup> al año 1991/92.

La Figura 1 representa las aportaciones mensuales acumuladas de la mencionada serie.



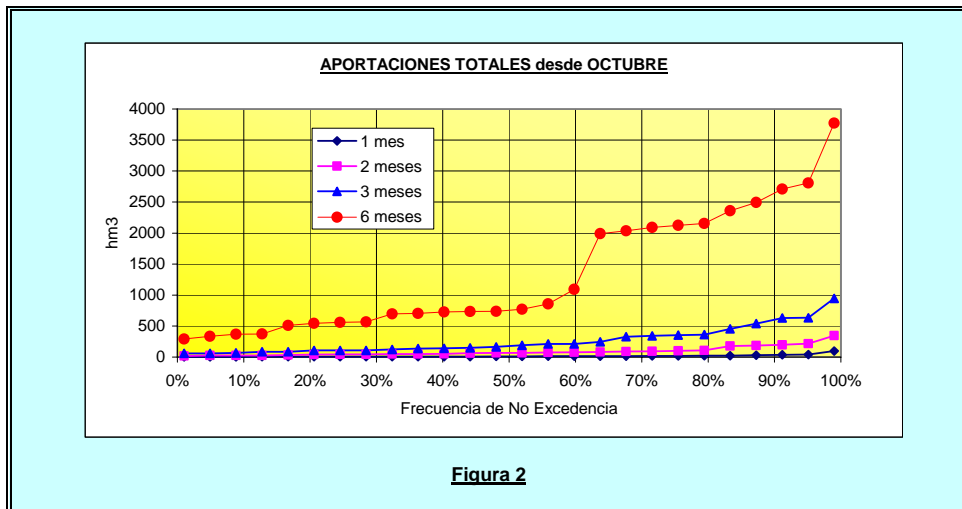
A partir de la serie de aportaciones podemos conocer la “probabilidad de no excedencia”, o dicho de otra forma “probabilidad de que se produzca una aportación menor”, que le corresponde a cualesquiera de las que forman la serie, y por lo tanto saber su situación dentro de la misma una vez ordenados los datos por orden creciente.

Para ello por cada mes, ordenaremos de menor a mayor los 26 datos de la aportación de ese mes, así como los acumulados desde el comienzo del año hidrológico correspondiente, es decir para el mes de octubre tendremos los 26 octubres, para el mes de noviembre los 26 noviembreros y los 26 valores que se obtienen de sumar cada octubre con el noviembre del mismo año; así sucesivamente hasta llegar al mes de septiembre, en el que tendremos los 26 valores de dicho mes y los valores totales de los 26 años hidrológicos que constituyen la serie histórica.

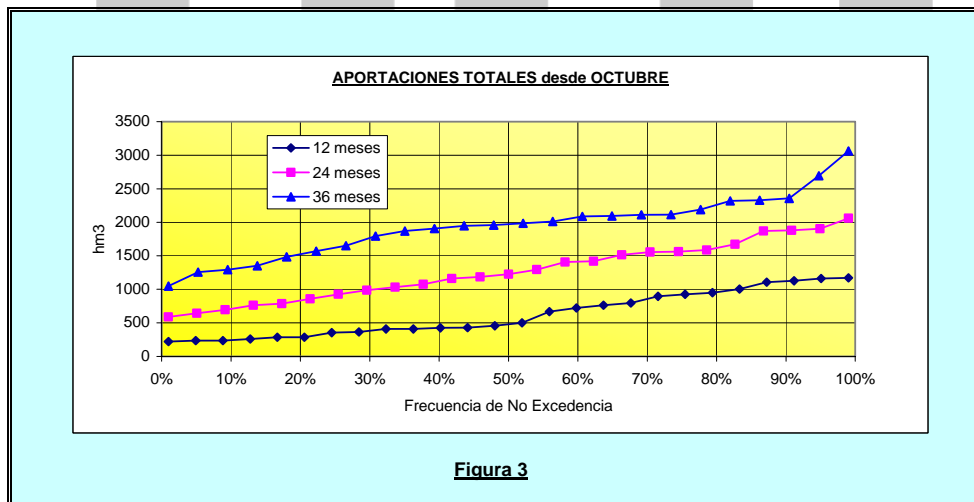
Se suele asignar el 99% y el 1% de probabilidad al valor máximo y al mínimo de cada subserie (mes y periodo de año hidrológico transcurrido), correspondiendo a cada aportación de esa subserie un percentil de frecuencia, según el lugar que ocupa en la ordenación.

Gracias a esta clasificación, conoceremos el comportamiento de la aportación registrada en un determinado mes en relación con el conjunto de la serie de ese mismo mes, así como la evolución del periodo de año hidrológico transcurrido desde su comienzo. Esto constituye una eficaz herramienta de trabajo que nos da una visión rápida y fiable de cual es la situación en la que nos encontramos, a la vez que nos orienta para poder pronosticar el carácter del año, ya sea abundante, normal o de escasez.

A partir de dicha serie crearemos distintas subseries de 1, 2, 3, 6, 12, 24 y 36 meses que emplearemos para determinar la aportación total acumulada en dichos periodos de tiempo, en función de la probabilidad de no excedencia que se elija. Las figuras 2 y 3 muestran las gráficas correspondientes tomando como origen el mes de Octubre; eligiendo la probabilidad en %, obtendremos el volumen de aportación en hm<sup>3</sup> que le corresponde. Se dispondrá de cada uno de estos gráficos por cada mes del año.



La selección de una aportación en función de su probabilidad, resulta imprescindible para poder hacer los pronósticos de evolución de las reservas a corto, medio y largo plazo, y prever si se pueden alcanzar escenarios de insuficiencia de recursos.



### 2.1.1.- Meteorología.

Es de sobra conocida la relación directa que existe entre precipitaciones, en forma de lluvia o nieve, y las aportaciones que se registran en los ríos afectados por aquéllas.

Una herramienta eficaz para poder pronosticar mejor las aportaciones a corto plazo, es la de disponer de previsiones meteorológicas de precipitaciones y temperaturas para las cuencas hidrográficas que configuren nuestro sistema de abastecimiento.

Estas previsiones nos resultarán de gran ayuda para gestionar los volúmenes de agua almacenados en los distintos embalses del sistema, de forma que, ante anuncios de fuertes lluvias, se cuente con los resguardos de volumen suficientes para evitar vertidos de agua fuera de nuestro sistema, y en el caso de que debido a la magnitud de la crecida no haya más remedio que efectuarlos, sean de la menor cuantía posible.

El conocimiento de la evolución de las temperaturas a corto plazo, nos será también muy útil para nuestra gestión en los embalses ya que binomio precipitación-temperatura puede producir efectos muy distintos. Veamos varios casos.

Unas temperaturas bajas combinadas con precipitaciones (invierno) producirán nevadas en cotas altas de montaña, y por lo tanto las cabeceras de los ríos no responderán con fuertes aportaciones, sino que actuarán como reserva natural de agua para otras situaciones.

Temperaturas muy bajas sin precipitaciones (invierno) producen fuerte heladas que afectan a los cauces de los ríos ocasionando masas de hielo en las orillas, lo que reduce considerablemente los caudales circulantes por los mismos, al disminuir la sección del cauce.

Si existen importantes acumulaciones de nieve en las montañas y se producen precipitaciones considerables junto a temperaturas suaves (primavera), con gran probabilidad tendremos crecidas de caudal muy importantes, incluso avenidas, en los ríos que gestionemos.

Por otra parte, conocer las temperaturas para los próximos días nos facilitará prever la evolución de los consumos, especialmente en verano que se ven muy afectados cuando se alcanzan elevadas temperaturas (riegos, piscinas, etc.)

## **2.2.- Fuentes complementarias de suministro.**

Cualquier tipo de abastecimiento de agua debe contar con los recursos hídricos necesarios para atender a la demanda de sus clientes. Esta premisa se eleva a necesidad ineludible cuando el agua que se suministra es para el abastecimiento de una población, en cuyo caso hay que garantizar además de la cantidad, la calidad.

En nuestro caso nos centraremos en el objetivo cantidad, dando por sentado que la calidad está garantizada en todo momento a través de las correspondientes Estaciones de Tratamiento de Agua Potable.

Para cubrir esa garantía de suministro, todo sistema de abastecimiento deberá contar con fuentes complementarias a las que utilice normalmente. A tales efectos, si la fuente principal es el agua que aportan los ríos a los embalses situados en sus cuencas, se deberá disponer de otros recursos tales como transvases de otras cuencas que,



bien por gravedad o por bombeos, nos aporten cantidades adicionales de agua en caso de que las reservas de los embalses se encuentren en escenarios de escasez.

Otra fuente con la que se debe contar, si es factible, es la de las aguas subterráneas que actuarán como un “embalse despensa” a utilizar cuando las circunstancias lo requieran. Al tratarse de un recurso cuyo uso conlleva por un lado, un elevado costo energético, y por otro, un periodo de recarga de los acuíferos después de un cierto tiempo en funcionamiento, su puesta en marcha y posterior parada tiene que responder a unas directrices perfectamente marcadas de antemano, que señalen lo más exactamente posible dichos momentos en función de la reservas principales.

Cuando se explota este tipo de recurso hay que controlar dos parámetros hidráulicos en cada instalación en funcionamiento:

El nivel freático del pozo.

El caudal aportado por el pozo.

El estudio y control de estos parámetros es objeto de otra asignatura del presente curso.

### **2.3.- Capacidad de los embalses del sistema.**

El Reglamento Técnico sobre Seguridad de Presas y Embalses, aprobado por O.M. de 12 marzo de 1996, (B.O.E. 30 de marzo) en su Artículo 5.7 obliga a la redacción de las Normas de Explotación en las que, entre otros criterios se establecerán “los resguardos convenientes en el embalse durante épocas de riesgo de avenidas”.

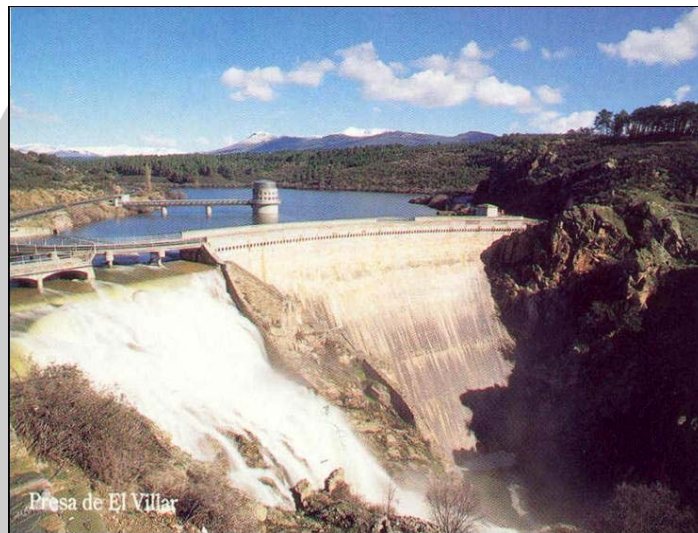
Esto se traduce en una merma de la capacidad de almacenar agua en los embalses que varía, lógicamente, según las estaciones del año, alcanzando los máximos valores en los meses de invierno y los mínimos en los de verano, con dos zonas de transición en otoño y primavera. En el caso del Canal de Isabel II, con capacidad máxima de embalse de 945,9 hm<sup>3</sup>, el resguardo máximo está cifrado en 169,4 hm<sup>3</sup> para los meses de diciembre y enero, fijándose el mínimo en 31,3 hm<sup>3</sup> para el trimestre junio-agosto.

Esta variación estacional del volumen disponible para el almacenamiento de agua en los embalses, es un factor determinante a la hora de optimizar este recurso y evitar en todo momento vertidos innecesarios de agua fuera del sistema que se explota.

El hecho de mantener los resguardos es una obligación a cumplir, por parte de la entidad gestora de la explotación de los embalses, ante la Confederación Hidrográfica de la cuenca correspondiente. En el caso del abastecimiento a la Comunidad de Madrid, el Canal de Isabel II tiene la responsabilidad de mantener en cada uno de los 14 embalses que gestiona, los resguardos mensuales señalados por la Confederación

Hidrográfica del Tajo, con la obligación de comunicar a dicho Organismo cuando, por crecida de los ríos, se prevea que en el plazo de 48 horas se vaya a alcanzar el nivel de resguardo.

Como fácilmente puede deducirse, la explotación de los embalses representa, especialmente en episodios de crecida, una labor muy importante dentro de la gestión global del abastecimiento, pues va a requerir una atención especial por parte de los gestores para laminar la avenida, a base de “comerse” parcialmente los resguardos al objeto de que los caudales de “suelta”, en caso de producirse, sean de la menor cuantía posible. No olvidemos que los vertidos desde un embalse, motivados por episodios de crecidas de los ríos, requieren la autorización previa del Organismo de Cuenca correspondiente, que será quien determine el caudal máximo de alivio.



#### **2.4.- Reservas de agua al inicio del periodo estudiado.**

A la hora de programar la explotación de un sistema de abastecimiento resulta imprescindible conocer la cantidad de agua disponible para el periodo de tiempo que estemos considerando.

En el caso de las aguas contenidas en los embalses nos resultará fácil saber el volumen almacenado. Nos bastará con disponer de la curva altura/volumen para, mediante la lectura del nivel del agua en el embalse obtener el correspondiente volumen. Los procedimientos para la obtención de las medidas y resultados mencionados, los estudiaremos ampliamente en la asignatura de “Instrumentación y Control” del presente curso.

Una vez obtenido el volumen de agua en un determinado momento, tendremos que calcular en función de las aportaciones y de las demandas previstas, cuál va a ser la evolución de las reservas a lo largo del periodo considerado, y por lo tanto prever si

el sistema tiene alguna probabilidad de entrar en escenarios de escasez en el periodo estudiado.



### **3.- GESTIÓN.**

Una vez que hemos establecido las demandas y conocemos los recursos disponibles para atenderlas, vamos a señalar las directrices necesarias para desarrollar la gestión más adecuada tanto a largo como a medio y corto plazo.

#### **3.1.- Gestiones a largo plazo.**

Entendemos la gestión a largo plazo aquélla que contempla actuaciones en horizontes de hasta 12, 24 ó 36 meses, a partir del momento presente.

La misión fundamental en este tipo de gestión es la de realizar un pronóstico de la evolución de las reservas durante el periodo de tiempo que hayamos elegido. Para ello, se partirá del volumen de reservas disponibles en el inicio del periodo, se deducirán los consumos que estimemos se vayan a producir, y se sumarán las aportaciones de los ríos que configuren nuestro sistema de abastecimiento según la probabilidad de no excedencia que elijamos para el estudio.

Como lo que nos debe de preocupar es que las aportaciones que se produzcan sean de poca cuantía (lo que nos podría llevar a situaciones de escasez), para el cálculo de la citada evolución se eligen probabilidades muy bajas al objeto de acercarnos a los peores escenarios que se puedan producir. En el caso del Canal de Isabel II, se trabaja con las series con probabilidad de no excedencia del 10%, el 4% y la formada por los 48 meses de menores aportaciones registradas a partir del mes inicial.

El proceso consiste en la realización de balances mensuales consecutivos del tipo:

$$\begin{array}{l} \text{Volumen embalsado en el inicio del mes 1} \\ + \text{Aportación prevista en el mes 1 (\% p.n.e.)} \\ - \text{Consumo previsto en el mes 1} \\ \hline \end{array}$$

Volumen embalsado en el inicio del mes 2

A la hora de calcular los consumos mensuales hay que contar con la evaporación que se produce en los embalses, consecuencia de estar el agua en contacto permanente con la atmósfera. Sus valores alcanzan los máximos en verano con motivo de las altas temperaturas que se alcanzan en esta estación del año, y son función directa de la superficie de la lámina de agua en el embalse. Hay diversos métodos para calcular el volumen en hm<sup>3</sup> de agua que retorna a la atmósfera que se verán en la asignatura de “Instrumentación y Control”.

Si el Plan Hidrológico de Cuenca de los embalses que configuran nuestro sistema de abastecimiento establece la obligación de dar caudales ambientales, habrá que considerar el volumen anual establecido como un consumo más a contar en los citados

balances.

La curva formada por los 12, 24 ó 36 volúmenes embalsados al inicio de cada mes, representará la evolución mensual de las reservas a lo largo del periodo que hayamos estudiado.

Como ya hemos apuntado anteriormente, lo que más nos debe preocupar es saber si en el caso de producirse aportaciones bajas, las reservas van a alcanzar valores que puedan representar la entrada en situaciones de escasez, en las que peligren las garantías del suministro, o por el contrario, aún en el caso de bajas aportaciones el sistema no se resentirá.

### **3.1.1.- Sequías hidrológicas y Escenarios de disponibilidad de recursos.**

Las situaciones ó escenarios de escasez suelen estar motivadas por las sequías hidrológicas, considerando como tales a las secuencias meteorológicas causantes de que los ríos tengan unas aportaciones con muy baja probabilidad de no excedencia.

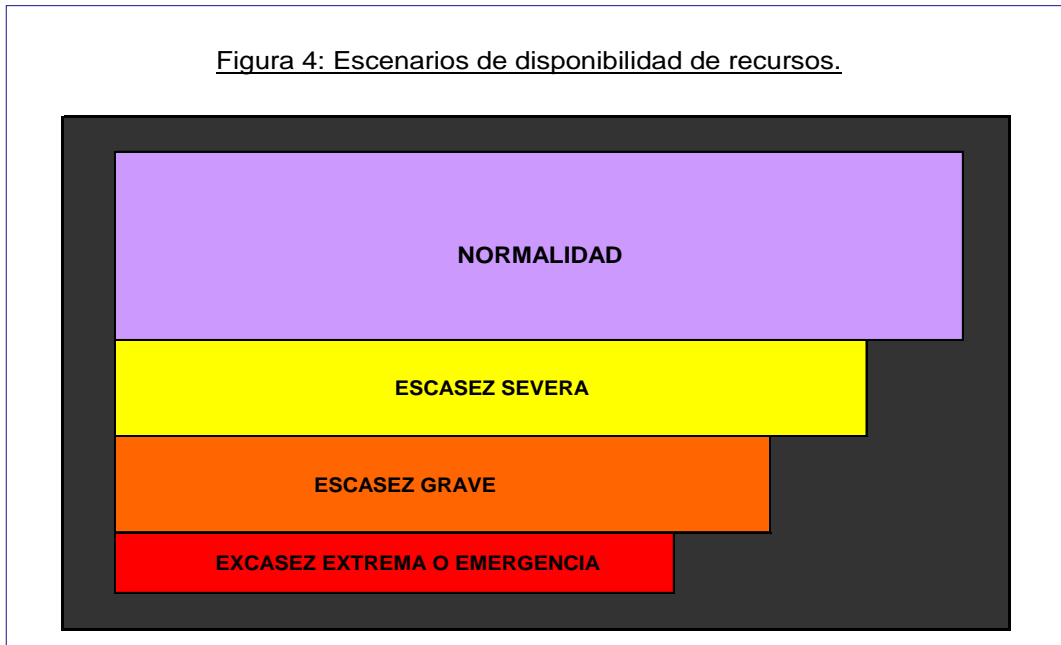
Para realizar una buena gestión, tendremos que determinar cuales son los mencionados escenarios de escasez, al objeto de poder determinar en todo momento en cuál de ellos estamos y que probabilidad existe de alcanzar el inmediato.

En el caso del Canal de Isabel II, su Manual de Abastecimiento identifica cuatro escenarios o situaciones de valoración de las reservas superficiales disponibles en el conjunto del sistema.

Estos escenarios, representados en la figura 4, son los siguientes:

- 1.- Normalidad.
- 2.- Escasez severa.
- 3.- Escasez grave.
- 4.- Escasez extrema o emergencia.

Figura 4: Escenarios de disponibilidad de recursos.



Los valores de inicio de cada uno de los escenarios se determinarán en función del volumen máximo de los embalses, de los consumos y de la garantía de suministro que se establezca en cada caso por el gestor correspondiente.

### 3.1.2.- Afecciones al suministro.

Dependiendo del escenario en que se lleguen a encontrar las reservas, el suministro de agua a la población se vería afectado de distinta forma.

El Manual de Abastecimiento del Canal de Isabel II, establece las afecciones al suministro dependiendo del escenario. Las más significativas se señalan a continuación:

Situación de normalidad:

- Se atiende a la demanda sin ninguna limitación.

Situación de escasez severa:

Reducción media de la demanda del 9%, conseguida a través de campañas de concienciación del ahorro y sin necesidad de aplicar restricciones  
 Dar solamente el 25% de los caudales medioambientales desde marzo a septiembre.  
 Costes socioeconómicos muy bajos.

Situación de escasez grave:

Reducción media de la demanda del 26%. Aplicación de restricciones.

Incumplimiento de los caudales medioambientales.  
Intento de mantener las especies arbóreas urbanas de valor e interés y mayor fragilidad.  
Pérdida de especies vegetales estacionales.  
Costes socioeconómicos significativos consecuencia de las restricciones de agua en actividades comerciales e industriales.

Situación de emergencia:

Demanda racionada a las necesidades básicas de la población, estimadas en 80 l/hab. día para usos domésticos, y el 50% de las dotaciones normales para el resto de actividades.

No se podrían garantizar las condiciones del agua suministrada con el mismo grado de compromiso que en situaciones de menor severidad.

Incumplimiento de los caudales medioambientales.

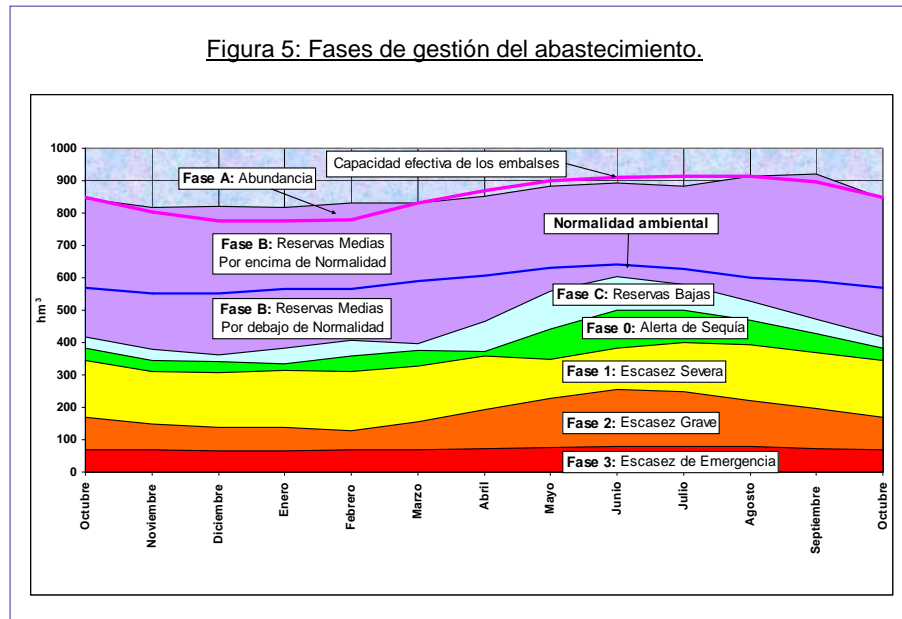
Sólo se darían riegos a las especies arbóreas urbanas de especial valor e interés.

Los costes socioeconómicos serían enormes al implantarse un sistema de racionamiento.

### **3.1.3.- Fases de gestión del abastecimiento.**

En consonancia con los niveles de inicio que se determinen para cada uno de los escenarios de situación de reservas, habrá que definir las distintas fases de gestión del abastecimiento, estableciéndose en cada una de ellas la forma de utilizar los distintos recursos con que se cuenta, las actuaciones a realizar y los objetivos a conseguir.

Tomando una vez más como ejemplo el Manual de Abastecimiento del Canal de Isabel II, en la figura 5 se representan los volúmenes al inicio de cada mes que delimitan dichas fases, junto con la curva de capacidad efectiva de los embalses gestionados por dicha entidad, a lo largo de los 12 meses del año hidrológico.



Para que la gestión a largo plazo resulte eficaz, habrá que determinar las normas de actuación para cada uno de los escenarios establecidos. Dichas normas serán potestad de la entidad encargada del abastecimiento, pero siempre se deberán enfocar hacia las actuaciones preventivas que contemplen la paulatina incorporación de las fuentes complementarias (en el caso de disponer de ellas) antes de entrar en la primera fase de escasez.

En la figura 5, se representan las distintas fases de gestión que se corresponden con los cuatro escenarios definidos anteriormente, pudiéndose observar que para el escenario de normalidad se han considerado 4 fases de gestión denominadas A, B, C y 0.

La Fase A o de Abundancia se corresponde con grandes volúmenes de almacenamiento de las reservas superficiales, pudiéndose la considerar como de excedentes ocasionales por superar el volumen embalsado al máximo mensual establecido. Coincidiría con situaciones de crecida en los ríos en las que se superarían circunstancialmente los resguardos establecidos.

La Fase B o de Reservas Medias, está subdividida por la curva de “normalidad ambiental” que, establecida por el Plan Hidrológico de Cuenca del Tajo, determina el cumplimiento de las condiciones ambientales según estén las reservas en relación con la misma. Caudales ambientales al 100% cuando las reservas estén por encima de la curva y el 50%, durante los meses de marzo a septiembre, si están por debajo de ella.

La Fase C o de Reservas Bajas, constituye una situación en la que se reduce aún más la demanda medioambiental, estableciéndose en el 25% desde marzo a septiembre.



La Fase 0 se denomina de Alerta de sequía por ser una fase de prevención y atención debido al bajo nivel de reservas, en la que existe una gran probabilidad de incurrir en una fase de sequía. El mismo cumplimiento de condiciones ambientales que en la fase C.

El Manual de Abastecimiento del Canal de Isabel II, señala las actuaciones a realizar en cada una de las fases establecidas y que, para las fases referenciadas anteriormente, en líneas generales consiste en la incorporación paulatina de los transvases y campos de pozos de que dispone dicha Entidad.

Las fases 1, 2 y 3 se corresponden con los escenarios de escasez severa, grave y de emergencia, respectivamente. En estas fases se producirían las afecciones al suministro descritas en el punto 3.1.2. Se buscarían recursos hídricos extraordinarios y se tomarían medidas especiales para la reducción y control de los consumos, al tiempo que se transmitiría a los ciudadanos la gravedad de la situación y la necesidad de ahorrar toda el agua posible.

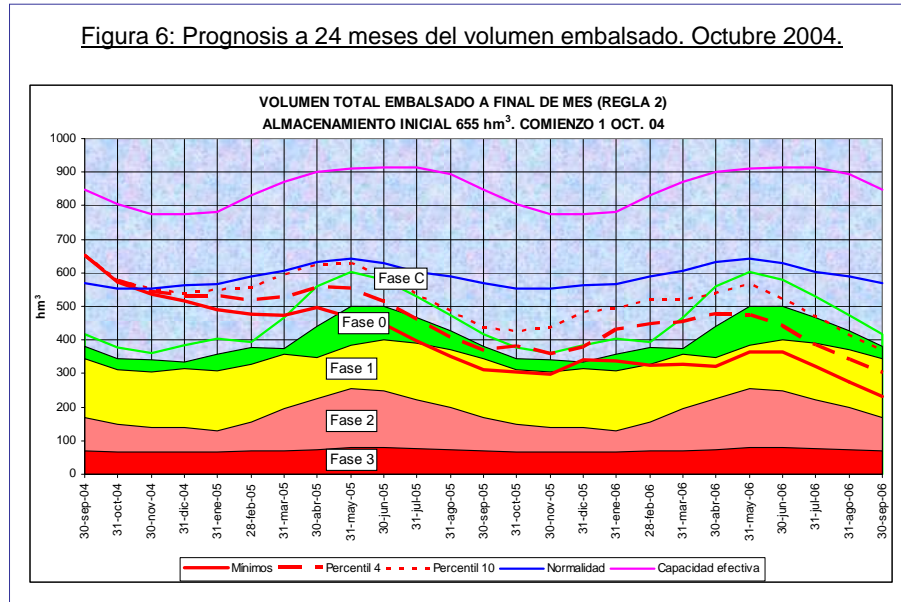
#### **3.1.4.- Prognosis de la evolución de las reservas.**

Una vez establecidas las fases de gestión y las actuaciones a desarrollar en cada una de ellas, solamente nos queda realizar un pronóstico de la evolución de las reservas (ver en punto 3.1 “curva formada por los 12, 24 ó 36 volúmenes embalsados al inicio de cada mes”) y relacionar ésta con las fases que se hayan configurado.

En la figura 6 se representa, a título de ejemplo, la prognosis a 24 meses del volumen embalsado en el sistema de abastecimiento del CYII, comenzando el 1 de octubre de 2004 (comienzo del año hidrológico 2004/05) y con una reserva de agua en los embalses de 655 hm<sup>3</sup>.

Como puede apreciarse en dicha figura, con unas aportaciones del 10% de probabilidad en sistema solamente rozará ligeramente la Fase 0 al cabo de 22 meses, mientras que con aportaciones del 4% de probabilidad entrará a los 10 y a los 20 meses en Fase 0 y a los 22 meses estaría en Fase 1. Si se considera la serie de mínimos mensuales, el sistema entra a los 10 meses en Fase 1: Escasez severa, para prácticamente mantenerse en ella en los siguientes 14 meses.

Figura 6: Prognosis a 24 meses del volumen embalsado. Octubre 2004.



Estas prognosis de evolución constituyen una herramienta potentísima para la previsión de posibles acercamientos a un escenario de sequía, y por lo tanto nos permite ir actuando adecuada y paulatinamente en la gestión de los recursos.

### 3.2.- Gestiones a medio plazo.

Consideramos como tales aquéllas que se realicen en horizontes de 1 a 3 meses, a contar desde el momento inicial del estudio.

Esto supone, indudablemente, un solape con las gestiones a largo plazo, y en muchos casos, constituyen los prolegómenos de las mismas, especialmente cuando hay que realizar labores de mantenimiento y conservación en las infraestructuras hidráulicas, en plazos iguales o superiores a 3 meses. Hay que tener muy presente que dichas labores, por regla general, suponen una disminución en la capacidad de almacenamiento, transporte o tratamiento de las instalaciones afectadas, lo que repercute directamente en el modo de gestionar los distintos recursos.

Todas las obras de aducción, y especialmente los canales, requieren unas labores periódicas de mantenimiento y conservación, que irremediamente van a producir el dejar fuera de servicio dicha instalación.

El poder utilizar o no un elemento de aducción puede llegar a condicionar el plan de desembalse en las distintas cuencas, por eso es primordial contar con una buena pro-



gramación de estas obras, buscando la época del año más idónea para acometerlas, para que las cuencas alimentadoras no sufran malos programas de explotación con vertidos no deseados, o dar lugar a llegar con los recursos agotados, una vez que el canal esté otra vez disponible.

A primeros de cada mes, se debe programar el régimen de utilización de las distintas fuentes de suministro en ese mes. Para ello, partiremos de los recursos disponibles en esas fechas (volumen embalsado, transvases, etc.) considerando si existen limitaciones por labores de mantenimiento en las instalaciones de captación, aducción y tratamiento y como repercuten las mismas en la garantía del suministro.

Una vez realizado este tipo de análisis, hay que determinar cuáles serán los volúmenes mensuales a detraer de los distintos embalses que configuren el sistema de abastecimiento.

La figura 7 muestra, a título de ejemplo, el gráfico con los desembalses previstos para el mes de Octubre de 2006 en el Sistema de Abastecimiento del Canal de Isabel II, como resultado de la prognosis a 24 meses efectuada en dicho mes de Octubre

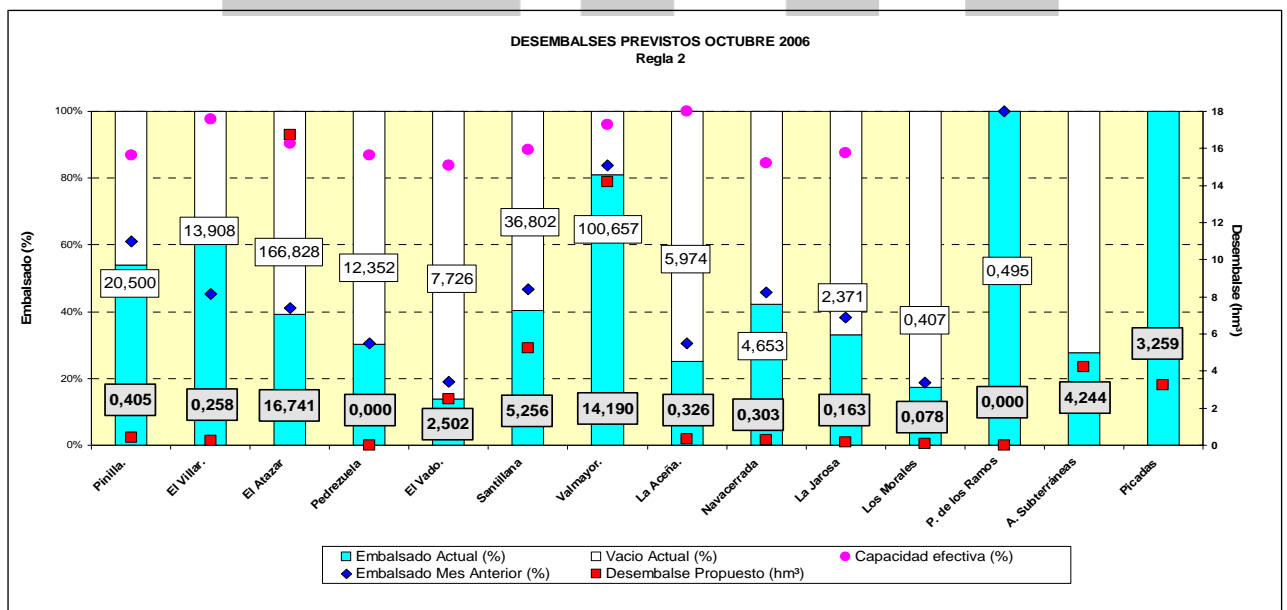


Figura 7

Si nuestro sistema de abastecimiento está constituido por más de un embalse, y especialmente si están situados en distintos ríos, habrá que establecer los desembalses mensuales de forma adecuada a las aportaciones en cada uno de ellos, de manera que derivemos la mayor cantidad de agua posible de aquéllos que tengan menor capacidad de regulación, al objeto de evitar vertidos de agua fuera del sistema. Con esta

estrategia lograremos que, una vez llegado el estiaje, este tipo de embalses se encuentren lo más cerca posible a su máxima capacidad permitida. Por el contrario, si disponemos de embalses con una gran capacidad de regulación, la estrategia consistirá en derivar de ellos lo menos posible en épocas de aportaciones fuertes, al objeto de aprovechar éstas para su llenado, y derivar de ellos los mayores caudales posibles en épocas de grandes demandas que, por regla general coinciden con el periodo de estiaje. Lo idóneo será contar con un sistema mixto que comprenda los dos tipos de embalses mencionados.

También, otro aspecto a tener en cuenta es el posible aprovechamiento energético. Si existen centrales eléctricas en los embalses se debe procurar, salvo en episodios de avenidas, que toda el agua que salga de aquél, tanto por canales para abastecimiento como por vertidos de regulación, sea turbinada. Igualmente, en el caso de que en los canales existan centrales hidroeléctricas, aprovechando rápidos en su trazado, se deben explotar dichos canales con caudales capaces de generar energía eléctrica.

Otro aspecto económico a tener en cuenta, será la utilización prioritaria de los recursos que se puedan incorporar por gravedad, frente a los que necesiten la utilización de energía eléctrica mediante bombeos.

En base a todas las consideraciones anteriores, elaboraremos el programa mensual de desembalse y distribución por los distintos canales.

### **3.3.- Gestiones a corto plazo.**

De los programas mensuales obtendremos los patrones para afrontar la gestión diaria (corto plazo) que, en principio, responderán a los caudales medios de abastecimiento previstos en dichos programas.

Esta gestión diaria vendrá marcada por la demanda de cada momento que variará:  
Semanalmente (lunes-domingo)  
Horariamente (hora punta-hora valle)

En un principio, la captación y la aducción se harán con la previsión media de consumo diario facilitada por el programa mensual.

Los depósitos reguladores son los elementos estructurales de aducción, encargados de absorber las diferencias entre los caudales aportados, que se mantienen bastante uniformes, y los caudales demandados por los usuarios a través de la Red de Distribución, que varían considerablemente a lo largo de las 24 horas del día.

No obstante, cuando la diferencia entre ambos es tal que las reservas normales del depósito sufren variaciones importantes, con riesgos de vertidos o vaciados, hay que

actuar sobre el caudal de entrada, bien modificando el caudal derivado en la fuente de captación, o bien transvasando agua desde otro canal o depósito que pueda ofrecernos esa posibilidad. Estas actuaciones se harán teniendo muy en cuenta el tiempo de recorrido del agua entre el elemento maniobrado y el depósito donde se está produciendo la desviación, ya que en muchos casos este tiempo es de varias horas.

La evolución diaria de los caudales medios horarios tiene un comportamiento similar de un día a otro, registrándose la punta diaria sobre las 8-9 de la mañana y el mínimo hacia las 3 de la madrugada, con sendos repuntes de consumo a las horas de la comida y de la cena, si bien los valores absolutos varían según se trate de un día laborable o festivo, sea invierno o verano, lluvioso o soleado, de forma que la curva tipo se achata o alarga en los valores máximos.

El control de la evolución de la demanda y las reservas en depósitos será función de la capacidad de estos últimos, recomendándose hacerlo con una periodicidad entre 3 y 24 horas, llegando a ser horaria en casos que así sea preciso (averías, cortes programados, etc.)

De igual modo, cuando se producen avenidas en los ríos, bien por lluvias importantes o fuertes deshielos, hay que hacer un seguimiento exhaustivo de como evolucionan las aportaciones, siendo el factor tiempo un parámetro fundamental a tener en cuenta. Tendremos que controlar la evolución de los caudales mediante las estaciones de aforo existentes en la cuenca y por los incrementos de altura/volumen que se registren en los embalses que regulan dicha cuenca. Este control habrá que ejercerlo con la periodicidad que requieran las circunstancias, llegando en caso de grandes avenidas a hacerlo de forma continua. Hoy en día, gracias a los procesos controlados a distancia y en tiempo real, no es demasiado difícil poder regular una avenida con éxito, es decir, laminándola a través de los órganos de desagüe de los embalses de forma que los caudales vertidos sean siempre menores que los máximos aportados por el río.

### **3.4.- Creación de Bases de datos.**

De poco nos serviría tener perfectamente definidas las gestiones a realizar sobre nuestro sistema de abastecimiento, si no recopilamos los resultados obtenidos, los analizamos y los guardamos en bases de datos que se puedan consultar en cualquier momento.

A tales efectos, a continuación se señalan las tareas que consideramos imprescindibles para que nuestras gestiones sirvan de guía para situaciones futuras.

Tareas para gestiones a largo plazo:

Crear y ampliar mensualmente las bases de datos históricos relativos a:

Aportaciones

Climatología

Elaborar mensualmente un pronóstico de la evolución de las reservas, a horizontes de 12, 24 ó 36 meses, que nos indiquen la probabilidad de entrar en escenarios de escasez en esos periodos de tiempo.

Respecto de las series históricas de las aportaciones de los ríos, habrá que detallar la distribución a lo largo del año por cada una de las cuencas que configuren nuestro sistema de abastecimiento.

En cuanto a datos climatológicos controlar temperaturas y precipitaciones para establecer correspondencias con aportaciones.

Estas bases de datos se irán nutriendo de los obtenidos en las gestiones diarias que más adelante indicamos.

Tareas para gestiones a medio plazo:

A principio de cada mes, y de acuerdo con las directrices señaladas en los programas a largo plazo, elaborar el correspondiente de desembalse y abastecimiento para los siguientes 30 días, en función de las reservas existentes, disponibilidad de elementos estructurales de aducción, previsiones de aportaciones y demandas para el período indicado.

Estos programas podrán ser modificados antes de cumplir su período de vigencia, si ocurren acontecimientos que así lo aconsejen tales como grandes variaciones en aportaciones o demandas sobre las previstas inicialmente.

La determinación de realizar dichas modificaciones será consecuencia directa de la gestión a corto plazo.

Tareas para gestiones a corto plazo:

Se desarrollarán diariamente las tareas necesarias para el control del desarrollo de los programas establecidos mensualmente, así como todas las que se deriven de causas imprevistas como pueden ser las averías o roturas en las instalaciones hidráulicas.

Para el buen control de esta gestión, se hace imprescindible la edición diaria (a hora fija) de una serie de boletines en los que se recojan los datos relativos a:

a) Embalses:

1. Estado actual:

Cota de embalse

Altura útil

Superficie de embalse

Volumen embalsado

% de capacidad máxima

Caudal derivado por tomas

Caudal vertido al río

Caudal por transvase (entrada o salida)

2. Comparación de datos con los del día anterior:

Diferencia de nivel

Diferencia de volumen

Entradas

Caudal desde embalse anterior

Caudal de la cuenca propia

Caudal por transvase

Caudal total de entrada

Volumen total de entrada

Salidas

Caudal derivado por tomas

Caudal vertido al río

Caudal de transvase

Caudal total de salida

Volumen total de salida

3. Datos de las últimas 24 horas:

Pérdidas (evaporación, filtraciones, etc.)

Precipitación (en la red de pluviómetros)

Precipitación estimada en la cuenca

Temperatura máxima

Temperatura mínima

b) Transvases de intercuenas:

1. Situación actual:

Caudal

Porcentaje sobre Q máximo

2. Datos de las últimas 24 horas:

Volumen aportado

Caudal medio

Horas de funcionamiento

c) Captaciones:

1. Situación actual:

Caudal

Porcentaje sobre Q máximo

2. Datos de las últimas 24 horas:

Volumen aportado

Caudal medio

Horas de funcionamiento

d) Agua total derivada:

Por cada canal o conducción de aducción:

1. Situación actual:

Caudal

Porcentaje sobre el Q mínimo

2. Datos de las últimas 24 horas:

Volumen derivado

Caudal medio

Caudal máximo

Caudal mínimo

e) Estaciones de Tratamiento de agua potable y Estaciones Depuradoras de agua residual:

1. Situación actual

Caudal tratado

2. Datos de las últimas 24 horas:

Volumen y caudal de agua bruta

Volumen y caudal de agua tratada

Volumen y caudal de pérdidas por explotación

f) Depósitos Reguladores:

1. Situación actual:

Compartimentos en servicio

Altura nivel de agua

Volumen

Porcentaje sobre capacidad máxima

2. Datos de las últimas 24 horas:

Compartimentos en servicio

Altura nivel de agua

Volumen

Porcentaje sobre capacidad máxima

Este control sobre los depósitos hay que hacerlo con periodicidad menor a las 24 horas señaladas, por ejemplo cada 3 horas con diferencias respecto a la edición anterior.

g) Consumos en Redes de Distribución:

Por cada red que tengamos perfectamente definida (por depósito o por gran arteria de aducción)

1. Situación actual

Caudal de consumo instantáneo

2. Datos de las últimas 24 horas:

Entrada a depósito

Volumen total y caudal medio

Salida del depósito

Volumen total y caudal medio

Consumos de la red

Caudal máximo y hora

Caudal mínimo y hora

Volumen total y caudal medio

h) Resumen General

1. Situación actual:

Volumen de agua en embalses



Volumen de agua en depósitos  
Caudal total instantáneo derivado para consumo  
Consumo instantáneo actual en Red  
2. Datos de las últimas 24 horas:  
Variación del volumen de agua embalsada respecto boletín anterior  
Aportación de los ríos  
Aportación por transvases  
Pérdidas (evaporación, filtraciones, etc.)  
Vertido total a los ríos  
Agua total derivada desde embalses  
Agua total derivada por captaciones  
Transvases y captaciones  
Agua total derivada para consumo  
Variación del volumen de agua en depósitos  
Consumos  
En redes de distribución  
Gastos de explotación  
3. Comparación de datos en la misma fecha:  
Volumen de agua embalsada. Diferencia actual-anterior  
Consumo en red

i) Volúmenes derivados para consumo, diarios y acumulados:  
Es muy recomendable la edición en forma de tabla de los siguientes datos:  
Diarios:  
Caudal medio  
Volumen (con % sobre el año anterior)  
Acumulados a primeros de mes:  
Volumen (con % sobre el año anterior)  
Acumulados a primeros de año:  
Volumen (con % sobre el año anterior)

Lógicamente, de los documentos a), b), ..... h), se deben editar resúmenes mensuales y anuales, que serán parte fundamental de las bases de datos necesarias para la gestión a medio y largo plazo.

Además, con periodicidad entre 1 y 3 horas (de acuerdo con las necesidades), se editará un documento f) Depósitos Reguladores, con situación actual y comparación con el mismo documento editado anteriormente, al objeto de ejercer el adecuado control sobre las demandas.

Con todo lo expuesto en el presente trabajo, entendemos que han quedado establecidas las pautas generales para la gestión de un sistema de abastecimiento en lo relativo a:

Captación



Aducción  
Depósitos  
Control de caudales entregados a la Red de distribución

Madrid, enero de 2007.

### **BIBLIOGRAFÍA:**

- Canal de Isabel II: “Información Técnica 2004”.
- Canal de Isabel II: “Informe Mensual sobre Gestión del Abastecimiento”. (Informe de difusión interna).
- Canal de Isabel II: (2003). “Manual de Abastecimiento del Canal de Isabel II”.
- Ministerio de Medio Ambiente: “Plan Hidrológico de Cuenca del Tajo”. (B.O.E. de 30 de agosto de 1999).
- Reglamento Técnico sobre Seguridad de Presas y Embalses: “Resguardos”. (B.O.E. de 30 de marzo de 1996).