## *3. MODELO DE GESTION COORDINADA DE LOS RECURSOS HÍDRICOS TOTALES DE LA CUENTA (continuación)*

### *3.4. Regulación del río Guadalfeo mediante embalses superficiales y subterráneos*

#### *3.4.1. Enfoques metodológicos aplicables*

##### *3.4.1.1. Regulación hidrogeológica de manantiales. El programa REGMA*

##### *3.4.1.2. Regulación conjunta mediante embalses superficiales y sistemas acuíferos subterráneos. Programa REGRIO2*

3.4.2.1., permitiría dotar las demandas de 1.147 ha de los riegos tradicionales de Motril y Salobreña. La infraestructura de regulación necesaria resultaría bastante sencilla y de impacto ambiental prácticamente nulo.

## 3.4. REGULACIÓN DEL RÍO GUADALFEO MEDIANTE EMBALSES SUPERFICIALES Y SISTEMAS ACUÍFEROS SUBTERRÁNEOS

Los resultados expuestos en el capítulo anterior, en relación con las posibilidades de regulación que ofrecerían los embalses de Béznar y Rules para dotar demandas internas y adyacentes a la cuenca, ponen de manifiesto un claro interés para la puesta en práctica de una regulación global de la escorrentía total de la cuenca del Guadalfeo, en la que intervengan igualmente los sistemas acuíferos más importantes localizados o implicados en la misma, no sólo como fuentes marginales de recursos, sino también como elementos capaces de contribuir a una más completa regulación de la cuenca.

### 3.4.1. Enfoques metodológicos aplicables

En un contexto hidrológico como el de la cuenca hidrográfica del río Guadalfeo son varios los planteamientos complementarios con los que llevar a cabo una regulación global de su escorrentía total: la de origen estrictamente superficial, es decir, la que nunca ha sido subterránea, y la propiamente subterránea.

#### 3.4.1.1. Regulación hidrogeológica de manantiales. El programa REGMA

Regular hidrogeológicamente un manantial significa conseguir, mediante bombeo en sondeos adecuadamente próximos, una adaptación de la ley temporal de descarga conjunta (la bombeada, más la que el manantial siga proporcionando en régimen afectado) a la ley temporal de la demanda que se desee atender.

Si la regulación es planteada con un criterio hidrológi-

camente **estricto**, la adaptación indicada deberá implicar que nunca, a lo largo del periodo de cálculo, se registren déficits. Con otro planteamiento, podrían adoptarse distintos criterios de garantía inferiores a la máxima: prescripción de un porcentaje máximo de meses con déficits, fijación de un valor relativo máximo para los mismos, etc. Desde el punto de vista hidrogeológico, la regulación puede ser **conservativa**, es decir, con restablecimiento de las reservas del correspondiente sistema acuífero al final de cada ciclo de cálculo, o aceptar una cierta explotación, programada de antemano y controlada, de dichas reservas.

En esencia, calcular la regulación hidrogeológica de un manantial para la dotación de una cierta demanda consiste en determinar:

- la localización de los sondeos de explotación-regulación necesarios, en función de las condiciones hidrogeológicas e hidrodinámicas del correspondiente acuífero;
- la capacidad de bombeo a instalar en los mencionados sondeos de explotación-regulación;
- la magnitud de la demanda de agua atendible mediante la regulación planteada;
- el calendario o programa representativo de los bombeos de explotación-regulación que será necesario llevar a cabo para, junto con la descarga (afectada) del manantial, dotar con la garantía establecida la demanda atendible; y
- el régimen tipo o representativo de la descarga afectada del manantial, como consecuencia de los bombeos a realizar.

En el presente estudio se ha optado por una **regulación hidrológicamente estrica** e hidrogeológicamente **conservativa**, es decir, con garantía estadísticamente máxima, y restable-

cimiento del régimen no influenciado de descarga del manantial al finalizar la serie histórica de referencia para los cálculos.

Básicamente, la información necesaria para llevar a cabo los cálculos indicados incluye:

- historial hidrométrico representativo de la fuente,
- análisis y evaluación de las dotaciones y demandas relacionadas con el manantial, y
- análisis del funcionamiento hidrogeológico e hidrodinámico de la fuente.

El cálculo se apoya fundamentalmente en:

- un modelo matemático predictivo realizado mediante el programa **REGMA**,
- un estudio estadístico del abanico de soluciones obtenidas; y
- un análisis de sensibilidad a la eventual indeterminación del parámetro hidrodinámico de afección-regulación (**TA** o **tiempo de agotamiento**).

El paquete de programas de cálculo informático elaborado para el estudio de la **REG**ulación de **MA**nantiales se fundamenta en un régimen pluriexponencial de afección y recuperación de la descarga de los mismos cuando se encuentra bajo la influencia de bombeos realizados en sondeos más o menos próximos que, por supuesto, capten el mismo acuífero (*).

## Fundamentos del programa

Adoptada la ley exponencial para la afección, la caracte-

(*) Dicho régimen ha podido ser rigurosamente verificado de forma experimental en varios manantiales correspondientes a contextos hidrogeológicos diversos.

rización exacta de la misma requiere sólo de la fijación del denominado **TIEMPO DE AGOTAMIENTO** o parámetro **TA**, definido como a continuación se indica:

- si **QPF** es el valor medio del caudal natural o potencial de la fuente, la ley de variación del caudal en disminución o descenso **QFDES** durante la afección será

  $$QFDES = QPF \cdot e^{a * t/TA} \quad \text{siendo} \quad a = -2 \cdot \ln 10$$

- la expresión indicada implica la elección del parámetro **TA** como equivalente al valor del tiempo de afección al cabo del cual el caudal de la fuente afectada queda reducido al 1 % de su valor en régimen no influenciado.

Para una determinada pareja manantial-sondeo de bombeo, de caudal natural y capacidad instalada dados, el valor del parámetro **TA** será una constante en la que estarán integrados los siguientes factores:

- distancia manantial-sondeo,
- cociente QB/QPF entre el caudal de bombeo y el caudal potencial de la fuente, y
- características hidrogeológicas e hidrodinámicas del acuífero en el entorno del manantial y del sondeo.

Cuando se trate de calcular la capacidad de regulación de un cierto manantial mediante un sondeo instalado preexistente, la determinación del correspondiente valor de **TA** será posible sólo mediante la ejecución de un **ensayo de afección**, de realización y técnica interpretativa específicas. Cuando, por el contrario, se esté analizando la regulación máxima de un manantial, sin que se cuente todavía con sondeos o prescindiendo de los existentes, se deberá utilizar un cierto abanico de valores de **TA** delimitado en función del contexto hidrogeológico, y efectuar después el oportuno análisis de sensibilidad.

La caracterización de la ley exponencial no precisa, por el contrario, de la fijación previa de ningún parámetro hidrodinámico: se debe aceptar que, en su restablecimiento, la fuente va a dejar de proporcionar (en relación con el que en régimen natural o no influenciado habría dado) el mismo volumen de agua subterránea que hasta el momento de iniciarse la recuperación, se hubiera extraído en exceso del acuífero.

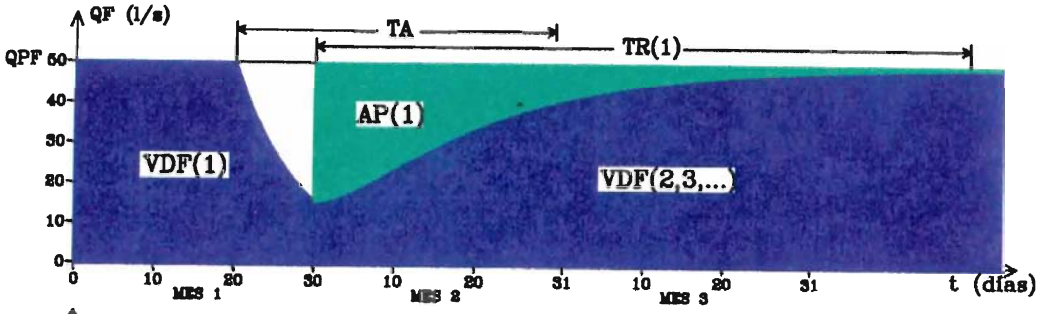
Al dar comienzo el bombeo correspondiente a un determinado mes del periodo de cálculo, es posible que como consecuencia de bombeos efectuados en meses anteriores, quede por "compensar" una determinada "afección pendiente" o "exceso de extracción" de agua del acuífero (*). Una vez realizado el bombeo correspondiente al mes en cuestión, la indicada **afección** pendiente (**AP**) resultará incrementada en la diferencia entre la descarga conjunta (bombeo y descarga afectada de la fuente) y la descarga que durante dicho mes habría proporcionado la fuente en el caso de que no se hubiese realizado el mencionado bombeo (aunque la misma hubiese estado todavía afectada por los bombeos realizados en meses anteriores). Con el final del bombeo, se iniciaría una recuperación progresiva del caudal de la fuente hacia su valor potencial, según una ley exponencial a la que correspondería un determinado valor de **tiempo de recuperación** (**TR**) (**).

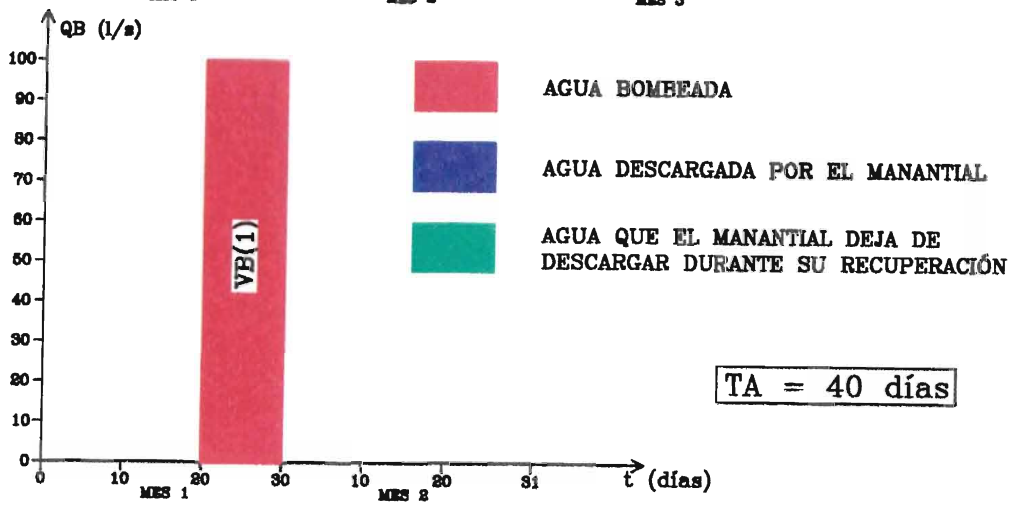
En la fig. 4 adjunta se ha representado la evolución que experimentaría el caudal de un manantial (de valor, supuesto constante e igual a 40 l/s en régimen natural o no influenciado), bajo la afección provocada por un bombeo de caudal constante igual a 100 l/s. Las características del acuífero y la localización del manantial y del sondeo son tales que el valor de **TA** asciende, por ejemplo, a 40 días (duración del bombeo

(*) Es decir, la diferencia entre el volumen acumulado de agua subterránea obtenida del acuífero (por bombeo y por descarga del manantial), y el que el mismo habría proporcionado hasta ese momento en régimen no influenciado.

(**) El valor de TR es siempre el resultado de un cálculo matemático (mediante integración) a partir del valor de **AP**.

# RÉGIMEN DE AFECCIÓN Y RECUPERACIÓN DE UN MANANTIAL




MES 1

QF = QPF*EXP(a*t/TA) {para (NDM−NDB)≤t≤NDM}

AP(1) = VDF(1)+VB(1)−86,4*QPF(1)*NDM(1)

[t contado a partir del origen del eje de abscisas]

MESES 2, 3, ...

QF = QPF*(1−(1−EXP(a*(NDB+t)/TA))*EXP(a*t/TR))

[a = −2 * ln 10]

[t contado a partir del comienzo de la recuperación]

QPF : CAUDAL POTENCIAL DE LA FUENTE
QF : CAUDAL INSTANTÁNEO DE LA FUENTE
VDF : VOLUMEN DESCARGADO POR LA FUENTE
AP : AFECCIÓN PENDIENTE
NDM : NÚMERO DE DÍAS DEL MES
NDB : NÚMERO DE DÍAS DE BOMBEO
VB : VOLUMEN BOMBEADO

FIG. 4

Instituto Tecnológico GeoMinero de España

ininterrumpido que conseguiría reducir el caudal de la fuente a sólo 0,4 l/s) (*).

Datos necesarios

Cuando la regulación esté destinada a una demanda de riego (**) son:

- **Historial de caudales del manantial**
- **Demanda unitaria de riegos**
- **Servidumbres** o demandas de dotación preferente garantizada: un abastecimiento público, un riego preexistente, etc.
- **Recursos exteriores**: el programa contempla la posible existencia de dos diferentes recursos exteriores, como los aportados por otro manantial no afectado por la regulación, por un canal o por un río por los que circulen recursos ajenos al acuífero, etc.
- **Coeficiente de utilización**: representa el grado de utilización máxima aceptado para la instalación de bombeo, referido al número total de horas de cualquier mes (en el presente estudio se ha adoptado siempre un valor igual a 0,80).
- **Caudal de bombeo**: se puede optar por un valor constante prefijado para el mismo, o bien dejar que sea el programa el que calcule la capacidad necesaria de bombeo a instalar. El primer supuesto corresponde normalmente al caso en que se desee determinar la regulación conseguible de un manantial mediante uno o varios sondeos ya

(*) Para el ejemplo reflejado en dicha figura, resultan los siguientes valores significativos, correspondientes al mes nº 1:

| | | | |
|---|---|---|---|
| VDF(1) | = | 112.057,2 | $m^3$ |
| VB(1) | = | 86.400,0 | " |
| AP(1) | = | 68.857,2 | " |
| TR(1) | = | 81,9 | d |

(**) Existen otras opciones de cálculo (regulación para abastecimiento, regulación con recursos exteriores, etc.)

existentes; la opción de caudal no prefijado es generalmente la más adecuada para el diseño de la regulación máxima posible para un manantial que esté descargando en régimen no influenciado, sin sondeos de bombeo que lo puedan afectar.

- **Tiempo de agotamiento.** El valor de TA, necesario para el cálculo de una regulación mediante sondeos preexistentes, podrá ser obtenido mediante un **ensayo de afección.** Si los sondeos con los que regular el manantial no existen aún, como sucede en el caso que nos ocupa, se deberá delimitar un intervalo probable para los valores del tiempo de agotamiento, tanto en la opción de caudal fijo como en la de varible, y realizar despues un análisis de sensibilidad de los resultados en función de las variaciones de TA.

<u>Resultados del cálculo</u>

Los resultados que proporciona el programa **REGMA** son los siguientes:

- **Superficie de riego garantizable máxima** (*)
- **Caudal de bombeo necesario** (**)
- **Funcionamiento hidrogeológico del sistema de regulación.** El programa calcula, mes a mes, los valores de las siguientes magnitudes:

| | |
|---|---|
| NDB | número de días de bombeo intensivo |
| NDDAF | número de días de descarga afectada de la fuente |

(*) La garantía mencionada está necesariamente ligada a la representatividad hidrogeológica hiperanual del historial de caudales potenciales del manantial con el que se haya contado, lo mismo que sucede en el cálculo de una regulación superficial con los historiales foronómicos utilizados.

(**) Es un resultado a obtener sólo en el caso de que el mismo no haya sido impuesto como dato.

| | |
|---|---|
| NDDMF | número de días de descarga máxima o no influenciada de la fuente |
| VDF | volumen descargado por la fuente ($m^3$) |
| VB | volumen que es necesario bombear ($m^3$) |
| RER1 | remanente o parte no utilizada del primer recurso exterior considerado ($m^3$) |
| RER2 | id. para el segundo recurso exterior. |
| AP | afección pendiente ($m^3$) |
| ESS | escorrentía subterránea sobrante ($m^3$) |
| DES | déficit de escorrentía subterránea ($m^3$) |

Proceso de cálculo

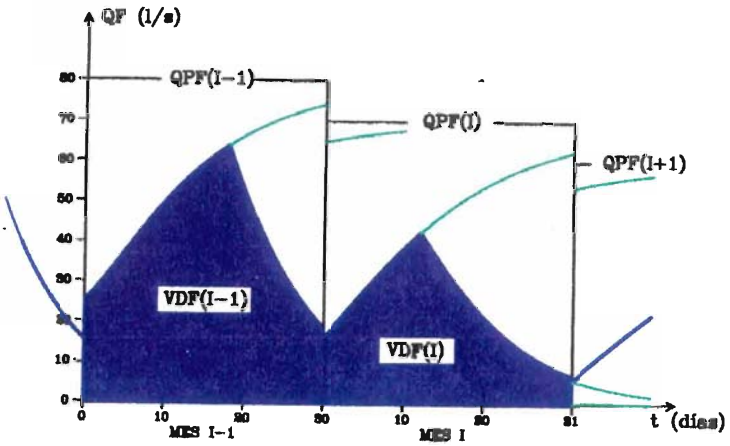
Pasando por la serie foronómica de referencia, se evalua mes a mes el volumen de agua que será necesario obtener mediante bombeo, tal que sumado al que proporcione la fuente afectada, cubran exactamente la demanda total a atender, de acuerdo con el valor de superficie de riego que se esté tanteando. Si al finalizar la serie (en el mes precedente al que se haya tomado como inicial) el caudal de la fuente se ha recuperado hasta su valor potencial, la superficie de riego tanteada coincidirá con la que se ha denominado **superficie de riego garantizado máxima** (SRGMX).

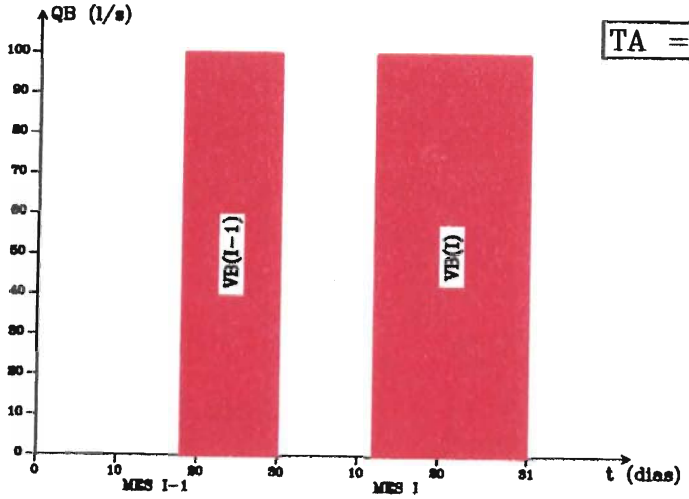
En la fig. 5 adjunta se ha representado el proceso de cálculo para un mes intermedio cualquiera I, en uno de los diversos casos posibles.

Los resultados que se obtengan (valor de **SRGMX**, fun-

(*) Se han querido reflejar en la figura la discretización temporal de un caudal variable en el manantial: obsérvense las roturas de continuidad que tienen lugar en los cambios de mes, es decir, al pasar de un paso de tiempo al siguiente. Las expresiones analíticas reflejadas en la fig. 5 corresponden al caudal de la fuente en recuperación (QFREC), al comienzo del mes I, y al caudal en descenso (QFDES) como consecuencia del bombeo que tiene lugar en una segunda etapa del mismo mes I.

## FUNCIONAMIENTO DE UN MANANTIAL EN REGULACIÓN




MES I

QFREC = A*EXP[a*t/TR(I)]

QFDES = QFREC*EXP{a*[t−NDM(I)+NDB(I)]/TA}

con :

A = {1−EXP[a*(NDM(I−1)+t)/TR(I−1)]}*EXP[a*(NDB(I−1)+t)/TA]

a = −2 * ln 10

QFDES : CAUDAL DE LA FUENTE EN DESCENSO

QFREC : CAUDAL DE LA FUENTE EN RECUPERACIÓN

FIG. 5

Instituto Tecnológico GeoMinero de España

cionamiento de la fuente, programa de bombeos a realizar, etc.) dependerán apreciablemente del mes elegido para poner en marcha la regulación hidrogeológica planteada (*). Por ello, el programa **REGMA** calcula (y almacena) los resultados correspondientes a regulaciones iniciadas sucesivamente en cada uno de los meses de la serie de referencia: la solución concreta a retener de entre las varias encontradas deberá ser consecuencia de un análisis estadístico e hidroagroclimático.

Eficacia de la regulación hidrogeológica de un manantial

Sin entrar de momento en el aspecto económico del tema, se han definido los siguientes índices de eficacia:

- **Índice de eficacia hidráulica 1** (IEH1), equivalente al cociente entre la demanda de agua que sería posible atender anualmente mediante la puesta en práctica de la regulación planteada y el volumen de agua que para ello sería necesario bombear en un año medio.
- **Índice de eficacia hidráulica 2** (IEH2), equivalente al cociente entre el incremento de la demanda de agua a atender como consecuencia de la puesta en práctica de la regulación y el volumen de agua a bombear (**).
- **Índice de eficacia hidrogeológica** (IEHG), equivalente al cociente entre la demanda total a atender si se pusiese en práctica la regulación y el volumen total de agua subterránea descargada del acuífero por bombeo y por la propia fuente (***).

(*) Ello debe ser así porque, iniciada la pasada de cálculos en un mes cualquiera de la serie foronómica, serán determinantes las mayores o menores posibilidades de recuperación que tenga la fuente durante los meses finales de aquella, es decir, durante los meses inmediatamente anteriores al elegido para comenzar la regulación. Pero habrá meses para los que carezca de viabilidad una regulación hidrogeológica comenzada en ellos.

(**) Es evidente el interés de obtener el mayor valor posible para los índices IEH1 y IEH2, que representan una especie de "tasas de beneficio hidráulico".

(***) El índice de eficacia hidrogeológica en la regulación de un manantial se corresponde con el grado de regulación en un embalse y, a diferencia de los dos anteriores, tiene un tope inalcanzable en la práctica igual a 1.

- **Índice de eficacia agrícola** (IEA), equivalente al aumento relativo que como consecuencia de la puesta en ejecución de la regulación, experimentaría la superficie de riego atendible (*).

De cara a coordinar la regulación hidrogeológica de los manantiales más importantes de la cuenca del Guadalfeo, con la regulación superficial que efectuen los embalses de Béznar y Rules, se plantean dos situaciones diferentes:

1ª <u>Regulación coordinada de manantiales y embalses superficiales, "en serie"</u>

En primer lugar, nos encontramos con la existencia de manantiales situados en la cuenca vertiente a los embalses destinados a la regulación superficial y que son regulables hidrogeológicamente con el objetivo de dotar las mismas demandas que éstos. En una situación así, siempre será hidrológicamente interesante llevar a cabo una **coordinación "en serie" entre embalses superficiales y sistemas acuíferos subterráneos.** Este procedimiento de regulación coordinada supone una cierta "especialización" en la gestión de los embalses, según que sean de tipo convencional (embalses superficiales) o se trate de sistemas acuíferos ("embalses subterráneos").

En efecto, si se consigue que al menos una parte de la escorrentía subterránea que forma parte de la aportación propia de los embalses superficiales, llegue a éstos ya regulada mediante técnicas y medios hidrogeológicos, resultará posible una más eficaz dedicación de dichos embalses a regular la componente que sólo ellos pueden regular: la escorrentía estrictamente superficial.

A efectos del cálculo, el hecho de que a un embalse

(*) En los casos, que a veces se presentan, de que la demanda de las servidumbres de dotación prioritaria superen en algún mes a la totalidad de la descarga no influenciada del manantial, el valor de la superficie de riego garantizable sin regulación (SRGSR) será negativo y el presente índice superará, sin límite, el valor de 1. En los restantes casos tendrá dicho valor por tope máximo.

llegase ya regulada una parte de sus aportaciones equivale, de hecho, a que la misma "pasase de largo" o, lo que es igual, que dejase de llegar al embalse en cuestión.

El planteamiento expuesto es aplicable a los manantiales de Padul y Cijancos (después de asegurar la dotación de sus demandas locales actuales) en relación con el embalse de Béznar, en cuya cuenca vertiente se encuentran. Será, por tanto, cuestión de calcular la capacidad de regulación superficial de dicho embalse cuando le llegue ya regulada una parte de sus aportaciones propias (o, lo que es lo mismo, cuando la misma le deje de llegar "reguladamente"). A dicha capacidad de regulación habrá que añadir los resultados conseguibles mediante la regulación hidrogeológica de los citados manantiales.

El manantial de La Zaza se encuentra en la cuenca vertiente al proyectado embalse de Rules, pero parece prioritario que su regulación hidrogeológica esté destinada sólo a la mejora y ampliación de los riegos locales. Además su descarga resulta irrelevante frente a las aportaciones propias del embalse.

2ª <u>Regulación coordinada de manantiales y embalses superficiales, "en paralelo"</u>

Existen también otros manantiales, situados aguas abajo de los embalses superficiales, pero en cabecera de las áreas de demanda principal de la cuenca, y cuyas escasas perspectivas de mayor aprovechamiento local hacen planteable su dedicación a apoyar a los embalses superficiales en la dotación de tales áreas. Se trataría en este caso de llevar a cabo una **coordinación "en paralelo" entre embalses superficiales y sistemas acuíferos subterráneos**": tanto los primeros como los manantiales por los que se descargan los segundos serían regulados de forma independiente, pero simultáneamente y para el mismo objetivo.

Este segundo planteamiento de regulación coordinada es aplicable en la cuenca del Guadalfeo a los manantiales de Vélez de Benaudalla, después de dotar de forma prioritaria sus demandas de riego actuales. Los manantiales del río de la Toba, en situación hidrológica similar a los de Vélez debieran ser regulados hidrogeológicamente para hacer posible la dotación de la ampliación de regadío en curso (los "Nuevos regadíos de Guájar-Faragüit").

3.4.1.2. Regulación conjunta mediante embalses superficiales y sistemas acuíferos subterráneos. Programa **REGRIO2**

El último de los enfoques de regulación global aplicables a la cuenca del Guadalfeo deriva de la siguiente esquematización:

Desde un punto de vista puramente conceptual, un río regulado por un embalse hasta un cierto grado, a su paso por un punto cualquiera de su curso, puede ser visto como la superposición de dos cauces distintos:

- por uno de ellos circularían únicamente sus aportaciones reguladas, es decir, todos los años la misma serie de doce volúmenes mensuales (*);
- por el otro sólo discurrirían los excedentes, ésto es, una irregular serie de volúmenes, a veces nulos, equivalentes a la parte de las aportaciones no evaporada en los embalses, que éstos, por falta de capacidad, no han podido retener y han debido verter - son los vertidos- , más todas o la mayor parte de las aportaciones vertientes al río aguas abajo de los embalses.

Si al cauce de excedentes se le incorporasen en cantidad y momento oportunos aportaciones de otro origen (subterráneo en nuestro caso, aunque podría tratarse de otro tipo de

(*) Si la regulación no fuese estricta se registrarían déficits condicionados en la citada serie de 12 valores.

recursos hídricos: aguas residuales depuradas, por ejemplo), dispondríamos en él de una nueva circulación conjunta susceptible de ser descompuesta en una nueva parte regulada (equivalente a la mejora de regulación conseguida) y una parte, menor que antes, que sigue estando sin regular.

El planteamiento expuesto constituye, en esencia, el fundamento metodológico de la regulación superficial conseguible mediante la utilización conjunta de embalses superficiales y sistemas acuíferos subterráneos, en la que los desembalses superficiales parcialmente regulados son complementados con agua subterránea bombeada, para dar lugar, en conjunto, a una aportación regulada, de origen mixto.

Para la puesta en práctica de una regulación con ese enfoque habrá que determinar, una vez fijado el objetivo de regulación a conseguir, cual deberá ser la contribución a la misma de cada uno de los embalses superficiales disponibles, es decir, cuánto y cuándo deberán desembalsar, y cual deberá ser el aporte neto procedente del sistema o sistemas acuíferos subterráneos, especificando el régimen de utilización de los mismos: magnitud y calendario de dichos aportes. De forma complementaria, será necesario fijar también el emplazamiento de la red de sondeos con los que obtener dicho aporte en condiciones adecuadas.

Con objeto de poder determinar los programas de desembalses superficiales y de aportes netos de origen subterráneo necesarios (*) para, en conjunto, alcanzar un preestablecido grado de regulación, así como las series de excedentes sin regular resultantes, se ha aplicado el programa **REGRIO2**.

El programa presenta las siguientes características más

(*) Cuando el sistema acuífero a utilizar no presente ninguna conexión hidráulica natural con el río a regular, es decir, cuando no exista posibilidad de afección al mismo por los bombeos que se efectuen en el acuífero, el mencionado aporte neto coincidirá con el bombeo a realizar para obtenerlo. Si la afección pudiese producirse, el bombeo tendría que superar al aporte neto en la cuantía de la misma durante el tiempo que dura el bombeo (este caso abre, por otro lado unas posibilidades de regulación conjunta aun más amplias).

destacables que lo distinguen del **REGRIO1**, al que complementa:

- Puede operar en régimen estricto o con distintos tipos de déficits condicionados, pero puede suceder (*) que el embalse no llegue nunca a vaciarse por completo.

- Fijar un determinado grado de regulación a conseguir significa determinar de antemano el volumen de agua que, en conjunto, hay que suministrar mes a mes. Dicho volumen es, en cada mes, igual a la suma de:

  * las servidumbres asignadas al embalse durante el mes en cuestión, y
  * el porcentaje mensual de las demandas de riego aplicado al volumen anual a regular para riego .

- A su vez, fijar el grado de regulación supone determinar el volumen anual a regular para riego (**).

- Determinado el volumen de agua que, en conjunto, hay que suministrar en un mes cualquiera, se puede optar por uno u otro de los dos siguientes criterios de actuación:

  * Sólo después de que, una vez agotadas, hayan resultado insuficientes las disponibilidades superficiales totales del mes (***), se hace entonces intervenir como complemento el aporte neto de agua subterránea bombeada desde el acuífero; es decir, no se realiza ninguna anticipación o adelanto en los bombeos. Es evidente que, operando de esta forma,

(*) Cuando se adopte una política de adelantamiento de los bombeos.

(**) Dicho volumen debe ser igual a la diferencia entre la aportación regulada total (el porcentaje prefijado de la aportación media total) y la suma de la servidumbre anual asignada al embalse más el valor medio anual de las derivaciones efectuadas aguas arriba del mismo.

(***) Volumen embalsado al final del mes anterior, más las entradas netas al embalse durante el mes, menos evaporación mensual.

resultará mínimo el volumen total de agua a bombear, porque sólo se bombeará cuando resulte estrictamente indispensable

* Se admite efectuar bombeos en meses en que sería factible atender la demanda total comprometida, sólo mediante disponibilidades superficiales (aunque el embalse superficial quedase con una reserva excesivamente reducida al final del mes): bombear algo en tales meses, aunque no fuese estrictamente necesario hacerlo, permitiría contar al final de los mismos con una reserva capaz de hacer menores las necesidades de bombeo en meses posteriores. Si esta política de anticipación de bombeos fuese adecuadamente programada, se conseguiría disminuir el valor del máximo bombeo (determinante de la capacidad de bombeo a instalar), aunque, como contrapartida, resultarían más elevados los valores del bombeo total a realizar, de los excedentes sin regular y de las pérdidas por evaporación (debido a que al utilizar agua subterránea del acuífero con más frecuencia de lo estrictamente indispensable, el llenado medio del embalse resultaría mayor).

- El programa **REGRIO2** permite optar por una u otra de las dos políticas expuestas y, si se elige anticipar los bombeos, modular dicha anticipación mediante el denominado "**índice de adelantamiento de bombeos**" o parámetro **ALFA** (*). La elección del más adecuado valor para dicho índice será fundamentalmente el resultado de un compromiso entre bombeo total y bombeo instantáneo máximo; es decir, de una óptima dosificación entre inversión y gastos de explotación.

(*) Los valores de dicho parámetro a introducir en el programa son números reales $\geq 1$. Cuando ALFA = 1,0 la anticipación de bombeos es la menos enérgica.

- En la aplicación del programa **REGRIO2** se impone a todos y cada uno de los embalses el logro del prefijado grado de regulación, respecto de las aportaciones que les son específicamente propias, lo que hace que los resultados correspondientes a un sistema de embalses no sean, como con el **REGRIO1**, la suma de los obtenidos para los situados más aguas abajo en cada río convergente de una red hidrográfica, sino para todos los que componen el sistema.

### 3.4.2. Resultados del cálculo de la regulación coordinada

Tal como se puso de manifiesto en el apartado 3.3.4., las opciones **III** y **IV** de la regulación superficial, en el marco de las cuales se apoyarían las demandas de agua para riego y abastecimiento en la subzona **A1** o, además, se trasvasarían 28,5 $hm^3/a$ hacia la cuenca del río Adra, respectivamente, suponen, en un régimen hiperanual y estricto de explotación de los embalses, unos déficits importantes en la dotación de los riegos tradicionales de las vegas de Motril y Salobreña (1.212 y 3.009 ha, respectivamente). Por tanto, se trata ahora de analizar las posibilidades de que dichos déficits puedan ser cubiertos en el marco de una **regulación** superficial **coordinada** con la regulación hidrogeológica de manantiales y **conjunta** con el sistema acuífero Motril-Salobreña; en dicho análisis se aplicará la metodología expuesta en los apartados anteriores.

#### 3.4.2.1. Regulación hidrogeológica de manantiales

Los 12 manantiales cuya regulación hidrogeológica ha sido analizada en el presente estudio son los que se indican a continuación, agrupados según su localización hidrogeológica (ver apartado 3.1.5.):

- **Manantiales de Padul y Cijancos**
  - La Raja
  - Los Molinos
  - Mal Nombre