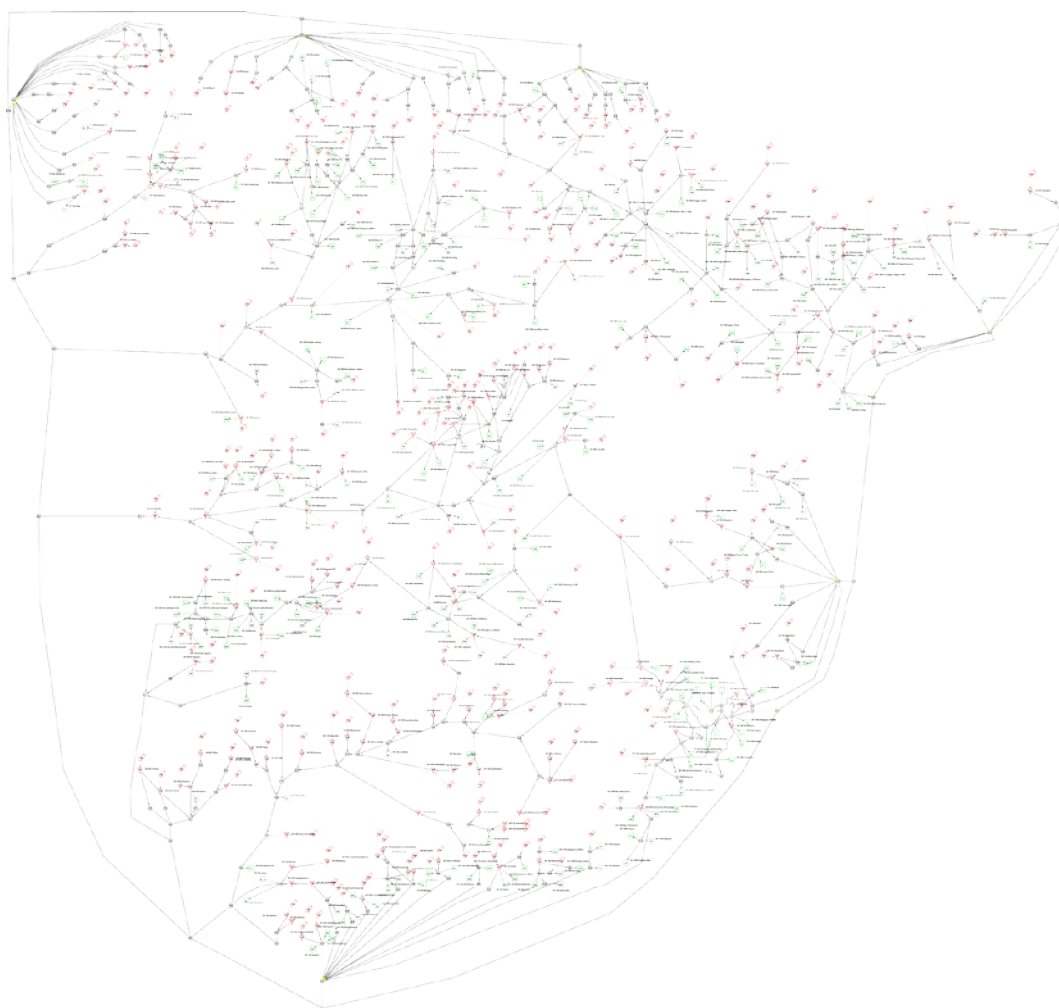


# **Modelo OPTIGES de Optimización de la Gestión de Esquemas de Recursos Hídricos.**

**Manual del Usuario**

**Versión 3.0**



***Joaquín Andreu Álvarez***

***Abel Solera Solera***

***David Haro Monteagudo***

## UNIVERSIDAD POLITECNICA DE VALENCIA

© Copyright J.Andreu, 1992. Todos los derechos reservados.

Impreso en España.

OPTIGES es marca registrada.

Fecha de impresión MARZO 1998

## PREFACIO

Este documento describe las características del modelo OPTIGES y explica la forma de utilizarlo.

El modelo ha sido programado en FORTRAN y está disponible en versiones ejecutables bajo entorno Windows, no obstante también es posible su utilización en otros sistemas operativos. Para la obtención de una licencia de uso legal del modelo deben dirigirse a los autores a la siguiente dirección:

Departamento de Ingeniería Hidráulica

Universidad Politécnica de Valencia

Apdo. 22012

46022 VALENCIA. España

Teléfono 3877614

Fax 3877618

El modelo ha sido ampliamente utilizado y probado por parte de los autores, quedando su utilidad y validez demostradas siempre que se respeten las condiciones para las que ha sido concebido. No obstante, como en cualquier programa complejo, la casuística posible es múltiple, por lo que no se puede descartar definitivamente el que alguna aplicación particular pueda dar lugar a problemas, ya sea lógicos o computacionales. Es conveniente por lo tanto leer los párrafos que siguen referentes a uso legal del modelo, responsabilidades y garantías.

El "software" que se describe puede ser utilizado únicamente a través de un contrato de utilización sin posibilidad de transferencia a terceros. El "software" puede ser utilizado y copiado solamente en los términos recogidos en el contrato.

El software descrito en este documento no está sujeto a garantías de ningún tipo aparte de las que se pueda especificar concretamente para cada licencia de uso en el contrato correspondiente. El uso de los programas es a riesgo del usuario, no respondiendo los autores ni el editor de daños directos o indirectos que puedan resultar de dicho uso.

La información contenida en este documento puede ser objeto de cambio sin previo aviso, y no supone una vinculación por parte de los autores. Ninguna parte de este manual puede ser reproducida de cualquier forma, electrónica o mecánica, incluyendo fotocopia o grabación, para ningún fin sin el apropiado consentimiento por escrito de los autores.

**MANUAL DEL USUARIO DEL MODELO OPTIGES V 3.0**

<b>1. INTRODUCCIÓN</b>	<b>1</b>
<b>2. DESCRIPCIÓN DE LOS ELEMENTOS.</b>	<b>3</b>
<b>2.1. Nudos</b>	<b>3</b>
2.1.1. Conexiones	3
2.1.2. Embalses	3
<b>2.2. Conducciones</b>	<b>4</b>
<b>2.3. Aportaciones</b>	<b>5</b>
<b>2.4. Demandas consuntivas</b>	<b>5</b>
2.4.1. Nudos de demanda	6
2.4.2. Tomas de demanda	6
2.4.3. Elementos de retorno	7
<b>2.5. Acuíferos</b>	<b>7</b>
2.5.1. Acuífero depósito	8
2.5.2. Acuífero unicelular	8
2.5.3. Acuífero pluricelular	9
<b>2.6. Recargas artificiales y bombeos adicionales</b>	<b>10</b>
<b>3. RED DE FLUJO, FUNCIÓN OBJETIVO Y OPTIMIZACIÓN</b>	<b>13</b>
<b>3.1. Red de flujo</b>	<b>13</b>
<b>3.2. Función objetivo</b>	<b>13</b>
3.2.1. Contribución a la función objetivo de los embalses	14
3.2.2. Contribución a la función objetivo de las conducciones	14
3.2.3. Contribución a la función objetivo de las demandas consuntivas	15
3.2.4. Contribución a la función objetivo de los bombeos adicionales	16
<b>3.3. Optimización de la gestión del sistema</b>	<b>17</b>
3.3.1. Horizonte de estudio y periodo de optimización	17
3.3.2. Tratamiento de las no linealidades y efecto sobre la función objetivo.	17
<b>3.4. Observaciones sobre el uso del modelo y limitaciones del mismo</b>	<b>18</b>
3.4.1. Observaciones en cuanto al proceso de optimización.	18
3.4.2. Observaciones en cuanto a la función objetivo.	18
3.4.3. Limitaciones del modelo.	20
<b>4. PREPARACIÓN DE LOS ARCHIVOS DE DATOS.</b>	<b>23</b>
<b>4.1. Archivos de datos del problema.</b>	<b>24</b>
<b>4.2. Archivos de datos de aportaciones.</b>	<b>36</b>

<b>5. RESULTADOS</b>	<b>39</b>
5.1. Archivos para escritura	39
5.2. Archivos para gráficos	41
<b>6. EJEMPLO DE APLICACIÓN</b>	<b>46</b>
6.1. Descripción del sistema.	46
6.2. Esquema del usuario.	47
6.3. Archivos de datos generales.	47
6.4. Archivos de datos de aportaciones.	54
6.5. Salida de resultados.	54
6.5.1. Archivo de eco de datos (ECODAT.OPT)	56
6.5.2. Archivo de resultados (RESANUAL.OPT)	59
6.5.3. Archivo resumen de resultados (RESUMEN.OPT)	60
6.6. Resultados gráficos	61
<b>7. MENSAJES DE ERROR.</b>	<b>67</b>
<b>8. INSTALACION Y EJECUCION DEL MODELO.</b>	<b>71</b>
<b>9. REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFIA.</b>	<b>73</b>

# 1. INTRODUCCIÓN

El modelo **OPTIGES** es un programa de uso general que realiza la optimización de la gestión de un sistema de recursos hidráulicos de acuerdo con unas hipótesis, objetivos y restricciones que se explican más adelante, y con decisiones y variables hidrológicas a escala mensual.

Para la utilización del modelo el usuario ha de confeccionar previamente un esquema simplificado del sistema de forma que este esté constituido por los elementos que en el modelo se contemplan y que se describen más adelante. El usuario suministra al programa los datos de la configuración de este esquema, o red, juntamente con los datos físicos de los elementos (por ejemplo: capacidades máximas de embalses, o de conducciones), los datos relativos a recursos y demandas, así como los que sirven para fijar prioridades dentro del esquema.

El programa trabaja con valores mensuales, y permite optimizaciones de períodos de un año (12 meses) en adelante, con un número de períodos de optimización definido por el usuario (por ejemplo, para unos datos de 40 años (horizonte de estudio de 40 años) de aportaciones se pueden hacer: 8 períodos de optimización quinquenal, ó 20 períodos de optimización bienal,...).

El modelo proporciona las soluciones óptimas según la función objetivo que se define más adelante, dando los valores de volúmenes embalsados, caudales circulantes y déficits, en cada mes para cada año, así como un resumen final de todo el horizonte de estudio que incluye valores medios, mensuales y anuales de todas las variables, número de fallos y garantías según distintos criterios definibles por el usuario, y déficits máximos.

Para facilitar un análisis más detallado de los resultados, así como la obtención de gráficos, el programa crea archivos ASCII con los valores de evolución de volúmenes de embalse, caudales circulantes, y déficits de las demandas. A partir de estos archivos es posible, con el uso de otras utilidades informáticas, como por ejemplo hojas de cálculo, la obtención de gráficos, así como de valores estadísticos de los resultados de orden superior al de la media. También se pueden obtener gráficos y tablas con las utilidades incluidas en el Sistema Soporte de decisiones **AQUATOOL** como se explica en el Anejo

El uso de algoritmos de redes de flujo para optimización y simulación de recursos hidráulicos es una metodología bastante recurrida en la práctica de la gestión de recursos hidráulicos (Hamdan, A.S. and Meredith D.D., 1975; Andreu, J., Gomez, J., y Marco, J., 1986). No obstante, el único modelo de optimización de uso general existente hasta la fecha en que se desarrolló la primera versión de OPTIGES es el AL-V (Martin, Q.W., 1981) derivado del modelo de simulación SIM-V (Martin, Q.W., 1982). Este último es un modelo de simulación que usa la optimización solo como herramienta para asignación de recursos a nivel mensual. El modelo AL-V, es un modelo de optimización que utiliza el mismo marco del SIM-V, y por lo tanto, es a nuestro parecer demasiado detallado, y requiere demasiados datos, algunos de los cuales incluso son conclusiones que pretenden extraerse de la propia solución óptima.

El hecho de haber desarrollado el modelo **OPTIGES** en la Universidad Politécnica de Valencia (UPV) no se deriva pues de una pretensión de duplicar un modelo existente, sino de la necesidad que ha surgido de usar un modelo sencillo para el filtrado de alternativas para la resolución de problemas de gestión de recursos hidráulicos. En realidad es el resultado de un proceso de evolución de las

herramientas usadas en la UPV para dichos fines. El punto de arranque lo supone el uso de optimización de redes de flujo para el estudio "Modelo matemático de simulación del sistema hidrográfico de los ríos Júcar y Turia" realizado para la D.G.O.H. (Confederación Hidrográfica del Júcar) en el cual se realizó un modelo ad-hoc para el sistema estudiado. Vista la conveniencia de un modelo general, este empezó a gestarse en el seno del proyecto de investigación "Metodología para el estudio de la utilización conjunta de aguas superficiales y subterráneas" financiado por la Fundación Ramón Areces, y la primera versión del modelo se utilizó en el "Estudio complementario de embalses en la vertiente mediterránea de Navarra" para la Comunidad Foral de Navarra, en 1986. La versión 1.0 (primera versión documentada) estuvo disponible en 1989 y fue el resultado de la introducción de un número de opciones y mejoras en el marco del "Estudio sobre disponibilidades, regulación y balances hidráulicos de la cuenca del Segura", realizado para la Confederación Hidrográfica del Segura (D.G.O.H. del M.O.P.U).

La versión 1.1, producida en 1992, recoge modificaciones importantes que permiten la definición de varios escalones en una demanda. De esta forma la optimización proporciona soluciones menos lineales que las que proporcionaba la versión anterior, que acumulaba los déficits totalmente a las demandas menos prioritarias y en meses concretos. Además, se ha añadido dos criterios adicionales de garantía para la evaluación final del comportamiento del sistema, con la particularidad de que la definición de fallo puede ser realizada por el usuario definiendo los porcentajes de déficit permitidos.

La versión 2.0, producida en 1995, contempla la posibilidad de incluir la evaporación en embalses y los retornos de demandas. Esto supone una mejora para el análisis de la optimización en sistemas donde estos factores tengan importancia, si bien a costa de un mayor tiempo de ejecución del programa debido a los cálculos iterativos que se hacen necesarios para resolver el problema.

La versión 3.0, producida en 2014, permite al usuario considerar la gestión conjunta de los recursos superficiales y subterráneos del sistema. A las capacidades existentes en versiones anteriores, se ha incluido la modelación de acuíferos, pérdidas de embalses por filtración, tramos de río con pérdidas y tramos con conexión hidráulica al acuífero, bombeos adicionales y recargas artificiales. Esto, de nuevo, incrementa el tiempo de cálculo por las iteraciones necesarias para resolver el problema. Además, en esta versión también se incluye la posibilidad de emplear el algoritmo de optimización RELAX que permiten una resolución considerablemente más rápida de la optimización.



## 2. DESCRIPCIÓN DE LOS ELEMENTOS.

La primera tarea para la utilización del modelo es la confección de un esquema simplificado de la cuenca. El esquema simplificado es similar a una red de flujo, en la que se refleja la infraestructura existente en la cuenca. Básicamente consta de conducciones de agua (naturales y artificiales), nudos (de unión, de bifurcación), embalses, aportaciones hidrológicas, demandas (zonas de consumo de agua), y retornos (agua no consumida por las demandas que se reintegra al sistema).

### 2.1. Nudos

Los nudos son elementos puntuales. Se ha de definir un nudo siempre que se quiera representar un punto de la cuenca con alguna de las características siguientes:

- Que en ese punto confluyan dos o más conducciones.
- Que en ese punto una conducción se bifurque o exista una derivación o toma.
- Que en ese punto exista una capacidad de almacenamiento (un embalse o un acuífero).

#### 2.1.1. Conexiones

Son los que corresponden a los dos primeros casos anteriores. Son por lo tanto simples puntos de confluencia o bifurcación. Están caracterizados por el número que, como se verá más adelante, se les asignará para su identificación. También es necesario el establecimiento de un nudo de este tipo en el punto final de un sistema (si son varios estos han de conectarse a un punto final único).

#### 2.1.2. Embalses

Corresponden al tercer caso mencionado arriba. Además de su numeración correlativa con la de los demás nudos, los nudos de embalse, o simplemente embalses, se caracterizan por su capacidad de embalse que, como se verá mas adelante, estará definida por la diferencia entre el volumen máximo y el volumen mínimo y puede definirse distinta para cada mes si se desea (por ejemplo, a efectos de tener en cuenta resguardos estacionales para laminación de avenidas).

También se debe definir la curva superficie-volumen y los valores medios de evaporación mensual para tener en cuenta la evaporación del embalse. La evaporación de embalse se calculará como la correspondiente a la media de las superficies de lámina de agua correspondientes al volumen inicial de un mes y el volumen final del mismo mes. **Cuando un embalse alcanza el volumen mínimo, se considera que no tiene pérdidas por evaporación, de forma que el volumen no bajará nunca del mínimo declarado.**

Del mismo modo, si se desea introducir las pérdidas por filtraciones del embalse habrá de definirse una ley de pérdidas por filtración del tipo:

$$P = a + bV^c \quad (1)$$

donde **P** y **V** son las pérdidas y el volumen instantáneos y **a**, **b** y **c** son parámetros suministrados por el usuario y requeridos por el modelo. A efectos prácticos el volumen instantáneo se calcula como la media de los volúmenes inicial y final de cada mes.

Es necesario definir en los embalses el volumen inicial con el que comienzan el período de estudio. **El volumen inicial habrá de ser igual o mayor que el volumen mínimo declarado para el último mes del año.** En caso de declarar un volumen inicial menor que dicho volumen mínimo, el modelo automáticamente sitúa el volumen inicial en un valor igual al mínimo.

## 2.2. Conducciones

Son elementos que corresponden a tramos de río, canales, etc. de la cuenca, por los cuales circula el agua de un nudo a otro, siempre en una sola dirección preestablecida por el usuario. Por lo tanto, las conducciones se caracterizarán por su nudo inicial, su nudo final, su capacidad máxima (si se trata de un tramo de río esta se declarará como muy alta, por ejemplo de 1000 hm<sup>3</sup>/mes), su caudal mínimo (p.e. caudal ecológico, o de dilución) y la prioridad de este caudal mínimo. Tanto las capacidades máximas como las mínimas pueden definirse distintas para cada mes del año.

La prioridad se entiende relativa a los otros posibles tramos de río con caudal mínimo. El tramo de río (conducción) con menor número de prioridad es prioritario sobre el de mayor número. Lo normal será pues poner un 1 para el caudal ecológico prioritario, y un 2 al siguiente, y así sucesivamente.

En las conducciones con caudal mínimo es posible fraccionar dicho caudal en cuatro niveles. Estos niveles tendrán prioridades crecientes. De esta forma, en caso de conflicto por insuficiencia de recursos, el modelo tratará de satisfacer en primer lugar el primer nivel de todas los caudales mínimos, a continuación el segundo, y así sucesivamente. De esta forma se puede evitar el acumular el déficit por escasez de recursos a un mismo tramo con caudal mínimo. Es necesario por consiguiente especificar entre los datos de la conducción el número de niveles en que se va a dividir cada caudal mínimo.

En la actual versión de OPTIGES se han definido tres tipos distintos de conducciones con diferentes características:

- **“Conducciones simples”**: Es aquella que se corresponde con la descripción que se acaba de efectuar, y con los datos mencionados queda perfectamente definida. Se la denomina también "conducción de tipo 1" o "tramo de río tipo 1" (TR1). Por motivo de funcionamiento interno del programa no está previsto el que haya más de un TR1 con los mismos nudos inicial y final, ni con el inicial y final intercambiado.
- **“Conducciones con filtraciones”**: Es aquella conducción que además presenta la característica de que al circular el agua por ella se producen pérdidas. Se considera que las pérdidas, P, son función del caudal circulante, Q, a la entrada del tramo, con la siguiente ley:

$$P = a + bQ^c \quad (2)$$

siendo **a**, **b** y **c** parámetros suministrados por el usuario y requeridos por el modelo.

A efectos de incorporar las filtraciones a algún acuífero, será necesario identificar la acción elemental que se considera para la asignación de filtraciones a ese acuífero como recarga.

A estas conducciones se las ha denominado también "conducciones de tipo 2" o "tramos de río tipo 2" (TR2).

- "Conducciones conectadas hidráulicamente con un acuífero": Es aquella conducción cuyo lecho atraviesa un acuífero existiendo conexión hidráulica entre los dos, y por tanto la posibilidad tanto de filtraciones de lecho hacia el acuífero como drenaje del acuífero hacia el río, dependiendo de la situación de niveles piezométricos del acuífero. Será por tanto necesario definir qué acuífero es el que está conectado con la conducción, e identificar, de entre las respuestas de simulación del acuífero (parámetros de control) cual es aquella que cuantifica el flujo entre los dos.

A estas conducciones se las ha denominado también "tramo de río tipo 3" (TR3).

Es conveniente en este momento el puntualizar algunas cuestiones importantes sobre los elementos de conducción en el modelo OPTIGES:

- Mientras que el caudal máximo es una restricción firme, el caudal mínimo es una restricción que puede violarse si no hay agua para satisfacerla, tal y como sucedería en la realidad.
- Por lo apuntado anteriormente, hay que tener cuidado con definir en todo esquema un "cauce natural", esto es, sin capacidades máximas (o lo que es lo mismo, con capacidades máximas muy altas) para que en épocas de aportaciones grandes que no puedan ser retenidas en embalses, éstas puedan ser desaguadas al punto final. Este requisito, que se cumple de forma natural en cualquier cuenca, ha de ser cumplido también en el esquema de usuario, pues de lo contrario puede colapsarse la ejecución del modelo por no existir solución factible.

### 2.3. Aportaciones

Corresponden a entradas de agua en el sistema provenientes de partes de la cuenca que no se incluyen en el esquema. Por ejemplo, puede representar la aportación de la cabecera de un río hasta el primer punto del mismo que aparece en el esquema del usuario, o la aportación de la intercuenca entre dos puntos del esquema. Vienen definidas únicamente por el nudo en donde se incorporan al sistema, el nombre del archivo del que han de leerse y un coeficiente para multiplicar los valores de ese archivo. El coeficiente puede ser de utilidad para:

- a) cambio de unidades a  $\text{Hm}^3/\text{mes}$  sin necesidad de modificar archivo.
- b) que los valores del archivo correspondan a un área mayor o menor de la que corresponde a los datos del archivo.
- c) que quieran disminuirse los valores para reflejar pérdidas, no incluidas en evaporación en embalses. O un escenario de supuesta reducción de recursos.

### 2.4. Demandas consuntivas

Corresponden a zonas donde el agua es utilizada (unidades de demanda urbana, agraria o industrial) de forma que parte de ella es consumida y no vuelve a ser incorporada al sistema, constituyendo una pérdida para el mismo.

Se componen de un “nudo de demanda”, uno o varios arcos de “toma de demanda”, y opcionalmente un “elemento de retorno” que puede ser compartido entre varias demandas.

### 2.4.1. Nudos de demanda

Vienen definidas por el valor de la demanda anual con el reparto de ésta dentro del año en forma de porcentajes, lo que determinará la demanda mensual. Para asegurar el suministro de las demandas y cantidades prioritarias se define para cada demanda 4 niveles de suministro mediante porcentajes que se priorizarán en la optimización para que primero se cumpla el nivel 1 en todas las demandas y tiempo y después se satisfaga el resto de niveles sucesivamente.

Si está disponible, en el caso de que el suministro superficial sea insuficiente, el resto de la demanda puede ser satisfecho mediante bombeos de un acuífero. Para definir el bombeo, es necesario facilitar el “número de acuífero del cual se bombea”, el número de “acción elemental” correspondiente al bombeo, el “bombeo máximo mensual”, la “prioridad del bombeo”, el “nivel de demanda” máximo para el que se activa el bombeo, el “parámetro de control del bombeo” y el valor “umbral de dicho parámetro” a partir del cual se detienen los bombeos. Los parámetros de control se definen más adelante en el apartado de acuíferos.

Como se verá más adelante, en la evaluación del comportamiento del sistema el modelo proporciona valores de garantías según distintos criterios. Será necesario dar los coeficientes de definición de fallos para los distintos criterios contemplados en OPTIGES.

### 2.4.2. Tomas de demanda

Para conectar la demanda al sistema es necesario definir un o varias “tomas” del sistema superficial. El concepto de toma se corresponde, en principio, a distintas procedencias del agua, pero también puede ser utilizado a efectos de gestión para distinguir prioridades aunque el agua proceda del mismo punto, o incluso a suministros de distintas subzonas dentro de la zona considerada. Esta versatilidad se consigue al definir para cada toma, además del “nudo de toma”, valores de “puntas mensuales” diferentes y “números de prioridad” de cada toma que determinarán desde qué puntos se suministra la demanda en primera instancia y que guardan relación con las tomas del resto de zonas de demanda. En lo relativo a prioridad sirve lo dicho para las conducciones.

Asimismo, a efectos de considerar la posterior evolución del agua utilizada, es necesario definir, para cada toma, dos coeficientes: un coeficiente de retorno,  $\alpha$ , y un coeficiente de consumo,  $\beta$ . Con ello, el agua que vuelve al sistema en forma de retorno superficial es:

$$R = \alpha \cdot S_{sup} \quad (3)$$

siendo  $S_{sup}$  el suministro superficial por la toma. Para contabilizar adecuadamente dicho retorno, es necesario definir para cada toma el número del “elemento de retorno” al que se incorporan dichos volúmenes R.

El agua que es consumida y, por tanto, se pierde del sistema viene dada por:

$$X = \beta \cdot S_{sup} \quad (4)$$

El resto, se considera que constituye infiltración profunda y viene dado por:

$$I = (1 - \alpha - \beta) \cdot S_{sup} \quad (5)$$

esta cantidad pasa a engrosar la recarga del acuífero asignado en los datos del nudo de demanda. Para que ésta sea contabilizada adecuadamente, es necesario que el usuario facilite al modelo los datos del “número del acuífero al que recarga” y “acción elemental” correspondiente a la recarga producida por infiltración en la zona.

### 2.4.3. Elementos de retorno

Corresponden a reintegros de agua procedentes de la fracción de las demandas que no es consumida y que se reintegra al sistema. La definición de estos elementos es puramente funcional, pues hubiera sido posible simplemente definir un número de nudo donde se incorporan los retornos de las distintas demandas. Pero, a beneficio de los requisitos de tiempo de ejecución y de capacidad de memoria requerida se ha preferido definir los elementos de retorno, y que cada uno de ellos pudiera ser usado por una o más demandas.

Para definir el elemento de retorno simplemente es necesario suministrar al modelo el número del nudo donde se supone se incorporan los caudales correspondientes.

## 2.5. Acuíferos

Los acuíferos son elementos del sistema que están conectados con el resto del mismo mediante las acciones que este pueda ejercer sobre ellos. La mayor parte de las posibles acciones ya han sido descritas anteriormente: filtraciones de embalses y tramos de río, conexión río-acuífero, infiltración profunda de zonas de riego y bombeos de las mismas; y otras no descritas todavía como la recarga artificial y los bombeos adicionales, que lo serán más adelante.

De forma similar a los embalses, los acuíferos representan puntos del sistema de recursos hídricos dónde existe capacidad de almacenamiento, aunque no así capacidad de regulación. Los acuíferos suponen unidades de almacenamiento con un volumen muy alto y de comportamiento generalmente lento, por ello, para un acuífero no será necesario definir un volumen máximo o mínimo, aunque sí un volumen inicial.

Además, dada la necesidad de establecer un nivel de referencia (o cero) para el comportamiento de los acuíferos, el volumen contenido en los mismos puede tomar valores positivos y negativos según las acciones que se estén ejerciendo sobre ellos en un periodo de tiempo.

Conviene aclarar previamente dos conceptos que van a ser utilizados a lo largo de la exposición y en las entradas de datos del modelo: las acciones elementales y los parámetros de control.

Por **acción elemental** se entiende una acción o conjunto de acciones que se ejercen sobre el acuífero y que puede variar en intensidad a lo largo de la ejecución del modelo. Por ejemplo, es una acción elemental un bombeo en un pozo, mientras que el caudal bombeado en cada mes es su

intensidad. Asimismo es acción elemental el bombeo en varios pozos de una zona siempre que el reparto del bombeo total entre ellos pueda suponerse fijo, siendo la intensidad de la acción el valor del bombeo total en un mes. Los acuíferos modelados como agregados sólo admitirán una acción elemental, que es la recarga (positiva o negativa) pues en ellos es inútil el distinguir su localización. En cambio, los acuíferos modelados como distribuidos admitirán varias acciones elementales.

Por **parámetro de control** se entiende cualquier respuesta del acuífero que interese conocer. Por ejemplo, el nivel en una celda, el volumen total en el acuífero, la relación río-acuífero. Los parámetros de control se utilizan como criterio para la definición de las reglas de operación para la explotación de acuíferos. Se puede impedir el bombeo cuando un parámetro de control dado alcance un valor inferior a un umbral dado.

El modelo admite varios tipos conceptuales de acuíferos que se describen a continuación.

### 2.5.1. Acuífero depósito

Corresponde al caso en que el acuífero no está conectado hidráulicamente con el sistema superficial y únicamente interesa conocer un parámetro de indicación de su estado de llenado y vaciado. Este parámetro es el volumen almacenado. Los datos a aportar son el volumen inicial y la recarga natural del acuífero. El modelo utilizado es:

$$V_t = V_{t-1} + R_t + R_{LL} \quad (6)$$

El volumen a final de mes,  $V_t$ , es la suma del volumen a final de mes anterior (o inicial)  $V_{t-1}$ , la recarga en el mes,  $R_t$ , y la recarga natural  $R_{LL}$  que se incluye mediante 12 datos de recarga media mensual.

Este modelo de acuífero, sólo admite una acción elemental que es la recarga neta (acción elemental no.1) y un parámetro de control, que es el volumen almacenado (parámetro de control número 1).

### 2.5.2. Acuífero unicelular

Corresponde al caso de un acuífero conectado hidráulicamente con el sistema superficial, con un coeficiente de desagüe,  $\alpha$ . Como puede demostrarse (Andreu, 1983) las ecuaciones que resultan son:

$$V_t = V_{t-1}e^{-\alpha t} + \frac{R_t}{\alpha}(1 - e^{-\alpha t}) \quad (7)$$

$$Q_t = V_{t-1} - V_t + R_t \quad (8)$$

La ecuación (7) da el volumen a final de mes  $V_t$  en función del volumen final del mes anterior (o inicial),  $V_{t-1}$ , el coeficiente de desagüe  $\alpha$ , y la recarga neta en el mes  $R_t$ .

La ecuación (8) da el caudal de relación río acuífero  $Q_t$  a partir del balance de entradas y salidas al acuífero

Los datos que habrá que procurar son pues el valor de  $\alpha$  y el de  $V_0$  (volumen inicial).

Si damos  $V_0 = 0$  y los valores de  $R_n$  son solamente los de las recargas netas de riegos estamos actuando por superposición, con lo que los valores de  $Q_n$  son las afecciones al caudal natural de los ríos.

Este modelo de acuífero sólo admite una acción elemental, que es la recarga neta (acción elemental no.1). Proporciona dos parámetros de control. El parámetro de control no.1 es el volumen  $V_t$  y el parámetro de control no.2 es el caudal de relación con el río. Si este es positivo es del acuífero al río, y si es negativo es del río al acuífero.

### 2.5.3. Acuífero pluricelular

Se denomina así al acuífero cuya relación con el sistema superficial se produce según una ley representada por varios coeficientes de descarga identificados como celdas.

Para la simulación de estos acuíferos se utiliza un modelo pluricelular englobado (A.Sauquillo, 1983), en el que es necesario dar el valor del coeficiente de desagüe  $\alpha_i$  en cada celda, el de los coeficientes de reparto de cada acción elemental sobre cada una de las celdas  $b_{ij}$ , y el del volumen inicial del acuífero  $V_i^0$  en cada celda.

El volumen a fin de mes en cada celda  $i$  viene dado por:

$$V_i^t = V_i^{t-1} e^{-\alpha_i t} + \sum_j \frac{b_{ij} R_j^t}{\alpha_i} (1 - e^{-\alpha_i t}) \quad (9)$$

donde  $R_j^t$  es el valor de la acción elemental  $j$  (recarga si es positivo o bombeo si el valor es negativo).

El caudal mensual de afección al río por cada celda viene dado por:

$$Q_i^t = V_i^{t-1} - V_i^t + \sum_j b_{ij} R_j^t \quad (10)$$

El caudal total de afección al río a final de cada mes viene dado por la suma de los caudales de afección de cada una de las celdas.:

$$Q^t = \sum_i Q_i^t \quad (11)$$

En el caso de que este valor resulte negativo, se producirán las correspondientes detracciones de caudal de río (sobre la conducción de tipo 3 conectada con este acuífero). Cuando sucede que el río no dispone de caudal suficiente para que se produzca dicha detracción se generan las llamadas "detracciones imposibles". Estas detracciones imposibles se descuentan del volumen almacenado y se crea una afección adicional en la celda cuya relación con el río es más rápida (la que tiene un valor de  $\alpha_i$  mayor), de la siguiente forma:

$$R_{CR}^{t+1} = AI_{CR}^{t+1} = Q_{río}^t + Q^t \quad (12)$$

siendo CR el índice correspondiente a la celda más rápida,  $Q_{río}^t$  es el caudal circulante por el tramo de río conectado al acuífero y  $Q^t$  el valor de la detracción teórica calculada para el mes en curso ( $Q^t$  es negativo).

La utilización de este modelo puede realizarse para 3 situaciones de acuífero similares, pero con condiciones de contorno diferentes. Estos casos son, en primer lugar el modelo de acuífero conectado con un río modelado por superposición al régimen natural; el segundo caso es el modelo con manantial modelado por superposición al régimen natural; y en tercer lugar el caso de un acuífero del que se dispone de datos de recarga natural modelado completo.

### 1. Acuífero conectado con un río modelado por superposición al régimen natural

Este es el caso en que el acuífero puede extraer agua del río con la única limitación del caudal disponible.

Para su modelación se ha de disponer una conducción de tipo 3 (TR3) conectada con el acuífero aguas abajo de la incorporación al sistema superficial de las aportaciones en régimen natural que incluyen la aportación del acuífero.

### 2. Acuífero con manantial modelado por superposición al régimen natural

La diferencia con el anterior es que el acuífero no puede extraer agua del río, sin embargo las aportaciones naturales del mismo están incluidas en la serie de aportaciones del río aguas abajo del manantial. En consecuencia es necesario limitar la extracción que el modelo puede producir al valor máximo de las aportaciones del manantial.

Para su modelación se dispondrá, al igual que en el caso anterior, una conducción de tipo 3 conectada con el modelo del acuífero aguas abajo de la incorporación al sistema superficial de las aportaciones en régimen natural que incluyen la aportación del acuífero. Pero esta conducción ha de tener su caudal máximo limitado por el valor de las aportaciones del manantial, de esta manera se limitan las extracciones de recursos superficiales al valor máximo de las salidas por manantial. Paralelamente, para permitir el paso de todo el caudal del río se incluirá una conducción tipo 1 con un coste by-pass para que solo lleve los caudales que superan la aportación del manantial.

### 3. Acuífero manantial con datos de recarga de lluvia modelado completo

En este caso las aportaciones naturales del acuífero al río no están incluidas en la serie de aportaciones superficiales aguas abajo del manantial.

Para su modelación se incluirá en primer lugar un tramo de río con filtraciones separado del sistema superficial que recibe la serie temporal de valores mensuales de recarga de lluvia. Y en segundo lugar se ha de incluir una conducción de tipo 3 conectada al acuífero y con entradas superficiales nulas.

## **2.6. Recargas artificiales y bombeos adicionales**

Son elementos definidos simplemente a los efectos de conectar los posibles flujos controlados del sistema superficial al subterráneo (caso de las recargas artificiales) y/o viceversa (caso de los bombeos adicionales).

En ambos casos, para definirlos es necesario dar el número del nudo del esquema de donde parten o adonde se incorporan y la capacidad máxima instalada.



El modelo producirá recarga artificial siempre que existan sobrantes de aguas del sistema superficial disponibles aguas arriba de la toma de esta.

Los bombeos adicionales son posibles extracciones de agua de un acuífero para su incorporación al sistema superficial y su utilización aguas abajo. El modelo recurrirá a bombeos adicionales siempre que los recursos superficiales sean insuficientes para el suministro de las zonas con un número de prioridad igual al designado a la hora de definir el bombeo adicional y al nivel de demanda definido para el bombeo.



### 3. RED DE FLUJO, FUNCIÓN OBJETIVO Y OPTIMIZACIÓN

En este capítulo se tratan los aspectos relacionados con la resolución del problema de optimización generado a partir del sistema de recursos hídricos esquematizado por el usuario. En el primer apartado se habla de la red de flujo que se genera a partir del esquema creado por el usuario. En el segundo, sobre la función objetivo que se pretende optimizar y de cómo los diferentes elementos del sistema contribuyen a su valor final. Finalmente, se tratará la resolución del problema y de cómo se gestiona el sistema como consecuencia de la función objetivo.

#### 3.1. Red de flujo

El modelo configura, a partir del esquema del usuario y en base a los datos físicos y de prioridades proporcionados sobre el sistema, una red de flujo interna, mucho más compleja que el esquema del usuario. La confección de esta red y su posterior optimización mediante el uso de un algoritmo de redes de flujo conservativas sirve para:

- Introducir la dimensión temporal. La red de flujo interna es una multiplicación del esquema del usuario que abarca los N años del período a optimizar. Las redes de un mes y la del siguiente están unidas por arcos de transferencia de agua de un mes a otro debidos a los elementos de almacenamiento.
- Contemplar las restricciones físicas del sistema: mantenimiento del balance de masas, de la ecuación de continuidad, capacidades máximas de las conducciones, de los embalses, etc...
- Introducir las prioridades entre las distintas demandas y tomas, y entre los distintos niveles de las mismas, incluidas las demandas de caudal mínimo en tramos de río.
- Encontrar aquella solución de gestión que satisface al máximo las demandas teniendo en cuenta las mencionadas prioridades en caso de escasez.

Esta red interna del modelo no trasciende al usuario en ningún momento, salvo que esté interesado en ello.

#### 3.2. Función objetivo

La optimización de la gestión del sistema para un período de N años es realizada por el modelo **minimizando** la función objetivo siguiente:

$$\sum_{t=1}^{N \cdot 12} \left[ \sum_{i=1}^{n_c} T_C + \sum_{i=1}^{n_d} T_D + \sum_{i=1}^{n_{ba}} T_{BA} \right] - \sum_{i=1}^{n_e} T_E \quad (13)$$

donde:

- $n_c$  es el número de conducciones en el esquema
- $n_d$  es el número de demandas en el esquema
- $n_{ba}$  es el número de bombeos adicionales en el esquema

- $n_e$  es el número de embalses en el esquema
- $T_C$  es la contribución de cada conducción con caudales mínimos a la función objetivo
- $T_D$  es la contribución de cada demanda a la función objetivo
- $T_{BA}$  es la contribución de cada bombeo adicional a la función objetivo
- $T_E$  es la contribución de cada embalse a la función objetivo

sujeta a las siguientes restricciones:

- La suma de caudales entrantes en cualquier nudo corriente de la red ha de ser igual a la suma de caudales salientes del mismo para cada mes.
- En los embalses, para cada mes, la suma de volúmenes entrantes mas el volumen embalsado a principio del mes ha de ser igual a la suma de volúmenes salientes mas el volumen embalsado a final de mes, más el volumen de evaporación.
- El caudal circulante por una conducción ha de ser menor que la capacidad máxima de la conducción para el mes en cuestión.
- Además, todas las variables, tales como volúmenes de embalse, caudal circulante por conducciones y volumen suministrado a demandas han de ser positivas o nulas.

### 3.2.1. Contribución a la función objetivo de los embalses

El término  $T_E$  de la función objetivo tiene la forma:

$$T_E = \sum_{t=1}^{N \cdot 12 - 1} K_E \cdot v_{i,t} + \delta_i \cdot v_{i,N \cdot 12} \quad (14)$$

donde  $K_E$  es un valor que puede ser definido por el usuario (por defecto  $K_E = 0$ );  $v_{i,t}$  es el volumen almacenado en el embalse  $i$  en el mes  $t$ ;  $\delta_i$  es el factor de ponderación asignado al volumen almacenado en el embalse  $i$  al final del periodo de optimización  $v_{i,N \cdot 12}$ . Este factor se calcula como:

$$\delta_i = K_E + n_e - p_i^e \quad (15)$$

donde  $n_e$  es el número de embalses existente en el esquema; y  $p_i^e$  es la prioridad asignada al embalse  $i$ . Así, los embalses con un número de prioridad mayor tienen menos importancia que los embalses con un número de prioridad menor.

Este término promueve el almacenamiento de agua en los embalses durante todo el periodo de optimización aunque el embalse donde se realice el almacenamiento en el esquema resulta, a priori, indiferente a excepción del último mes de la optimización, donde se premia el almacenamiento en los embalses más prioritarios.

### 3.2.2. Contribución a la función objetivo de las conducciones

El término correspondiente a las conducciones,  $T_C$ , tiene la siguiente formulación:

$$T_C = \sum_{j=1}^{n_i} \alpha_{i,j} \cdot d_{i,j,t} + K_{\sigma t} \cdot q_{i,t} \quad (16)$$

donde  $n_i$  es el número de niveles en que se divide el caudal mínimo de la conducción;  $\alpha_{i,j}$  es el factor de ponderación asignado al déficit  $d_{i,j,t}$  en el mes  $t$  y nivel de caudal mínimo  $j$  de la conducción  $i$ . Este factor se calcula como:

$$\alpha_{i,j} = K_{\alpha} - p_i^c \cdot K1 - j \cdot K2 \quad (17)$$

donde  $K_{\alpha}$  es un valor proporcionado por el usuario y que, en principio, se recomienda que sea igual a 20000 si se desea que los caudales mínimos tengan absoluta prioridad sobre las demandas, o 10000 si se desea equiparar sus prioridades;  $p_i^c$  es la prioridad asignada al caudal mínimo de la conducción  $i$  respecto al de otras conducciones, siguiendo el mismo principio de prioridad explicado para los embalses;  $j$  es el nivel de caudal mínimo para el que calculamos  $\alpha_{i,j}$ ; finalmente,  $K1$  y  $K2$  son dos valores internos del modelo que valen 5 y 200 respectivamente (si se utilizan archivos de datos de la versión 1.0, los valores son 100 y 0 respectivamente).

Con la primera parte del término se premia el cumplimiento de los caudales mínimos, en las conducciones que los tengan definidos, dando un coste muy alto a los déficits. Además, al dividir el caudal mínimo en niveles (que pueden representar la importancia de cumplir unos niveles de caudal más críticos que otros) puede repartirse el cumplimiento de ciertos mínimos en distintas conducciones del sistema.

Por otro lado,  $K_{\sigma t}$  es el coeficiente por recargo por by-pass asignado a la conducción  $i$ ; y  $q_{i,t}$  es el caudal trasegado por dicha conducción en el mes  $t$ . La necesidad de este término se deriva de que, en algún punto del esquema, puede ocurrir que alguna conducción (en la figura 1 el canal que va al embalse) sea una derivación que sólo quiera usarse para almacenar agua en el embalse. Para el ejemplo de la figura 1, al modelo le resultaría indiferente el que el agua siguiese el camino 1-2-4 o el 1-3-4, con lo que los resultados podrían falsear la capacidad necesaria en el canal de desvío 1-3 si se deriva agua por 1-3 y en ese mismo mes se está desembalsando por 3-4. Si se grava con un pequeño coeficiente el hecho de que el agua circule por 1-3 se evita esta circunstancia. Es suficiente con un valor de  $K_{\sigma t} = 1$ .

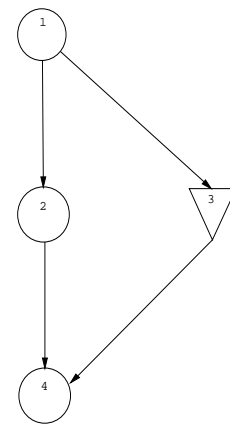


Figura 1. Ejemplo de conducción by-pass

Por lo general, las conducciones que no sean declaradas como by-pass tienen  $K_{\sigma t}=0$  salvo que se indique algo en contra. (Ver datos para las conducciones en el capítulo 4).

### 3.2.3. Contribución a la función objetivo de las demandas consuntivas

Las demandas consuntivas contribuyen a la función objetivo a través del término  $T_D$  de la forma:

$$T_D = \sum_{j=1}^{n_{i'}} \beta_{i,j} \cdot d'_{i,j,t} + \sum_{k=1}^{n_t} \gamma_{i,j} \cdot d''_{i,k,t} + \varepsilon_i \cdot Q_{i,b,t} \quad (18)$$

donde  $n_{i'}$  es el número de niveles en que se divide la demanda  $i$ ;  $n_t$  es el número de tomas que suministran a la demanda  $i$ ;  $\beta_{i,j}$  es el factor de ponderación asignado al déficit  $d'_{i,j,t}$  de la demanda  $i$  en el mes  $t$  para el nivel de demanda  $j$ ;  $\gamma_{i,j}$  es el factor de ponderación asignado al déficit  $d''_{i,k,t}$  de la demanda  $i$  en el mes  $t$  a través de la toma  $k$ ; y finalmente,  $\varepsilon_i$  es el factor de ponderación asignado al suministro  $Q_{i,b,t}$  de la demanda  $i$  en el mes  $t$  a través del bombeo con nivel de suministro a la demanda  $b$ .

Los tres factores de ponderación vienen dados por:

$$\beta_{i,j} = K_\beta - j \cdot K4 \quad (19)$$

$$\gamma_{i,k} = -p_{i,k}^t \cdot K3 \quad (20)$$

$$\varepsilon_i = K_\beta - p_{i,B} \cdot K3 - (n_{i',i,B} - 1) \cdot K4 - 2 \quad (21)$$

donde  $K_\beta$  es un valor proporcionado por el usuario y que, en principio, se recomienda que sea igual a 10000;  $p_{i,k}^t$  es la prioridad asignada a la toma  $k$  de la demanda  $i$  respecto a otras tomas suministrando a la misma u otras demandas del sistema, siguiendo el mismo principio de prioridad comentado para embalses y caudales mínimos;  $p_{i,B}$  es la prioridad asignada al bombeo a la  $i$ ;  $n_{i',i,B}$  es el nivel de demanda de la demanda  $i$  a partir del cual se activa el bombeo;  $K3$  y  $K4$  son dos valores internos del modelo que valen 5 y 200 respectivamente (si se utilizan archivos de datos de la versión 1.0, los valores son 100 y 0 respectivamente).

Al igual que con los caudales mínimos de las conducciones, este término premia el suministro completo de la demanda asignando un coste a la existencia de déficits. En este caso, además se tiene la posibilidad de complementar el suministro a través de bombeos. Sin embargo, la función objetivo está preparada para, en principio, priorizar siempre el suministro superficial frente al subterráneo. El usuario puede modificar esto modificando los valores de prioridad y nivel de suministro del bombeo.

### 3.2.4. Contribución a la función objetivo de los bombeos adicionales

La contribución a la función objetivo de los elementos “bombeo adicional” vienen dados por la expresión:

$$T_{BA} = \varepsilon_i \cdot Q_{i,t} \quad (22)$$

donde  $\varepsilon_i$  es el mismo factor de ponderación asignado a los bombeos de suministro a las demandas consuntivas; y  $Q_{i,t}$  es el volumen bombeado en el mes  $t$ .

De forma similar a lo explicado con los bombeos en las demandas consuntivas, el suministro superficial siempre tiene prioridad frente al subterráneo salvo que el usuario modifique los datos de prioridad y nivel de suministro convenientemente. De esta manera, el modelo no bombeará agua hacia el sistema superficial a no ser que sea estrictamente necesario para suministrar alguna demanda que no pueda serlo primero a través de los recursos superficiales.

### 3.3. Optimización de la gestión del sistema

La función objetivo planteada es lineal y, en pocas palabras, trata de minimizar la suma ponderada de déficits de caudales ecológicos, déficits de suministro a zonas de demanda (dando prioridad al suministro superficial frente al subterráneo), y maximizar el volumen almacenado en embalses,  $v_{i,N-12}$  al final de cada período de optimización elegido.

Dado que las restricciones del problema (balance cero en los nudos, caudales máximos y flujos positivos) son también lineales, y el esquema de cuenca se convierte en una red de flujo conservativa, se puede utilizar para la optimización el algoritmo de resolución de redes de flujo conservativas Out-of-Kilter (Bazaraa y Jarvis, 1977), Relax-IV (Bersetkas, 1994) o NETFLO (Kennington&Helgason 1980). La utilización de un algoritmo u otro puede ser seleccionada por el usuario, estando seleccionado por defecto el primero de los nombrados.

Existen diversas referencias comparando el funcionamiento de los tres algoritmos. La mayoría de autores coinciden en la eficacia superior de los algoritmos basados en el método de relajación como Relax-IV e implementaciones anteriores (Bersetkas 1985; Bersetkas&Tseng 1988 and 1994; Kuczera 1993). Estos algoritmos suelen tener tiempos de cálculo alrededor de un orden de magnitud inferiores que otros algoritmos de resolución de redes de flujo a coste mínimo.

#### 3.3.1. Horizonte de estudio y periodo de optimización

Se entiende por "horizonte de estudio", o simplemente "horizonte", al tiempo total, en años, que se va a considerar en la alternativa. Dicho horizonte se puede simular mediante la optimización de períodos menores, de forma que la optimización de la gestión se realice para el primer bloque, y los valores del estado final de ese primer período optimizado sean utilizados como valores del estado inicial en la optimización del siguiente período de optimización, y así sucesivamente.

#### 3.3.2. Tratamiento de las no linealidades y efecto sobre la función objetivo.

Como se comenta a lo largo de este manual, las últimas versiones de OPTIGES incluyen la posibilidad de modelar ciertos aspectos que afectan a la gestión final del sistema y que permiten elaborar modelos más ajustados a la realidad (evaporación de los embalses y retornos de las demandas en la versión 2.0, y modelación de la componente subterránea del sistema en la versión 3.0).

Sin embargo, estos procesos tienen todos, en mayor o menor medida, un comportamiento no-lineal que no puede representarse directamente en la red de flujo que se resuelve para optimizar el sistema (por depender el flujo en unos arcos del flujo en otros, o combinación de ellos). Como se plantea en Frederikcs et al (1998) y Haro et al (2012), un método efectivo para seguir aprovechando la versatilidad de la optimización de redes de flujo es resolver la red de forma iterativa de forma que la solución de una iteración sirva para calcular los flujos que han de recorrer los arcos asociados a las no linealidades.

Las iteraciones terminan cuando se alcanza una cierta convergencia de los resultados que puede ser modificada por el usuario y que, por defecto, se ha establecido en  $0.04\text{Hm}^3$  por arco. Como se estudió en Haro et al (2012), también existe la posibilidad de que dicha convergencia no llegue a ocurrir en todos los arcos a la vez, lo que se traduce en que, pasado un número de iteraciones, el valor de la función objetivo tiende al óptimo pero oscila alrededor del mismo, alargándose la búsqueda del óptimo de manera infinita. En casos así, puede considerarse aceptable

detener el proceso iterativo y quedarse con una solución pseudo-óptima que estará muy cercana a la óptima real.

### 3.4. Observaciones sobre el uso del modelo y limitaciones del mismo

Un modelo matemático de optimización no puede cubrir todos los aspectos de un sistema complejo con mucho detalle. Para que el modelo sea operativo hay que sacrificar muchas veces algunos aspectos del sistema por su exclusión o bien por su inclusión de forma simplificada. El modelo OPTIGES no es una excepción a esta regla, y por tanto, los resultados que proporciona serán válidos en la medida en que el usuario haya acertado en el proceso de abstracción del sistema real y su adaptación a las prestaciones del modelo. A continuación se dan una serie de llamadas sobre algunos aspectos del modelo, o de los resultados que con él se obtienen que hay que tener siempre en cuenta.

#### 3.4.1. Observaciones en cuanto al proceso de optimización.

Hay que tener en cuenta dos cosas. Por una parte que el óptimo del problema que se formula sólo es un óptimo global si se define un solo intervalo de optimización de longitud igual al horizonte en estudio (en el caso de que esto esté dentro de los límites de memoria del ordenador). Optimizaciones de intervalos consecutivos con longitud menor que la del período completo no dan el óptimo global, pero dependiendo de la longitud, la hidrología del sistema y las características del mismo, pueden estar bastante próximas al óptimo global, y ser de utilidad. Téngase en cuenta también que por su naturaleza, la función objetivo tiende a mantener el máximo de agua embalsada al final de un intervalo optimizado, de forma que se traspasa el máximo de agua al período siguiente.

Por otra parte ha de tenerse en cuenta que el modelo es en definitiva un modelo que usa una función objetivo y restricciones lineales, y que las soluciones obtenidas tienen las mismas características de una solución de programación lineal. Por tanto no puede introducirse economía de escala, ni proporcionalidad de costos. Además, las soluciones tienen características de los que en teoría de programación lineal se conoce como puntos extremos o vértices de la región factible, o soluciones básicas. Esto último quiere decir que normalmente en caso de aparecer un déficit, este siempre aparece acumulado en un mes, y no repartido en varios, y en caso de haber dos zonas con igual prioridad no hay reparto del déficit sino una acumulación a una o a otra indiferentemente. Este punto puede, y en caso de que en el sistema real sea aceptable debe, corregirse utilizando la posibilidad de dividir una demanda en varios escalones, de forma que los primeros escalones de todas las demandas son prioritarios sobre los segundos, y estos a su vez sobre los terceros, y así sucesivamente.

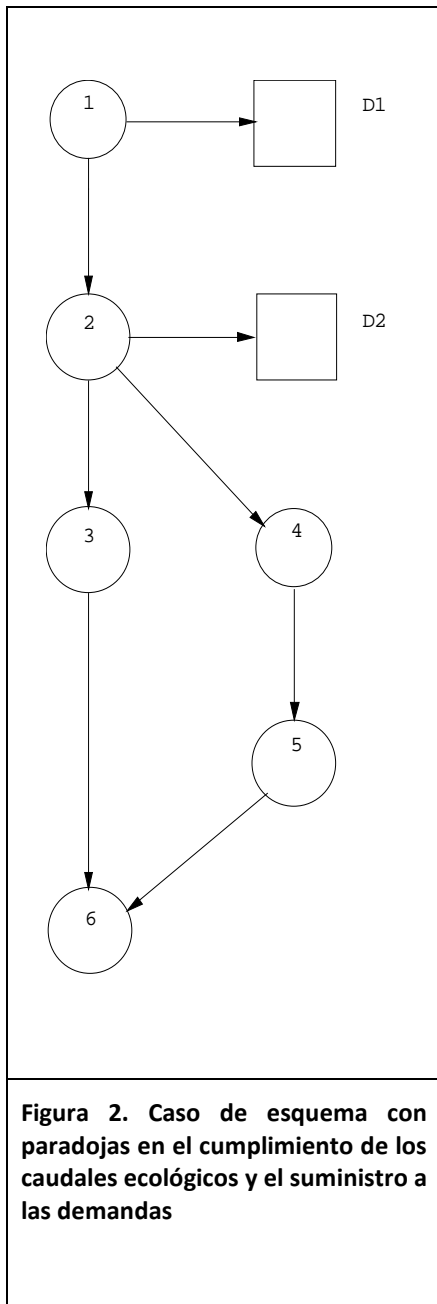
#### 3.4.2. Observaciones en cuanto a la función objetivo.

No hay que olvidar que el modelo optimiza usando como medida la función objetivo. En esa función objetivo son determinantes los valores de los  $\alpha_{i,j}$ ,  $\beta_{i,j}$ ,  $\gamma_{i,k}$ ,  $\delta_i$  y  $\varepsilon_i$  que a su vez vienen controlados por  $K_\alpha$ ,  $K_\beta$ ,  $K_{\sigma t}$ ,  $K_E$ ,  $p_i^e$ ,  $p_i^c$ ,  $p_{i,k}^t$  como puede verse en las ecuaciones (15), (17), (19), (20) y (21). El manejo de estos parámetros del modelo puede conducir a soluciones distintas para un mismo conjunto de datos, como podrá verse en los subapartados siguientes. Pero, previamente, conviene comentar estas ecuaciones y la función objetivo y los datos que se solicitan en el modelo referentes a demandas y caudales mínimos.

3.4.2.1. Caso en que se usan los valores de  $K_\alpha = 20000$ ,  $K_\beta = 10000$  y  $K_{\sigma t} = 1$



Si se usa como valores de prioridades números enteros correlativos empezando por el 1, se tiene que todos los niveles de caudales mínimos son prioritarios sobre todos los niveles de demandas. Por tanto la función objetivo resultante trata de satisfacer en primer lugar los primeros niveles de los caudales ecológicos por orden de prioridad, a continuación los segundos, y así sucesivamente, y a continuación los primeros niveles de las demandas por orden de prioridad, a continuación los segundos, y así sucesivamente. Esto lo hace procurando no hacer circular innecesariamente agua por los tramos declarados como by-pass y almacenando el máximo posible de agua en embalses al final de cada intervalo de optimización, distribuyéndola en dichos embalses por orden de prioridad.



Aún así, hay que tener precaución con algunas situaciones que pueden dar resultados paradójicos, pero que son lógicos. Por ejemplo, sea el subesquema de la figura 2 en el que la conducción 1-2 se declara como de caudal ecológico con valor mínimo  $q_e$ , la demanda D1 se declara con prioridad 1 y con valor  $d_1$ , y la demanda D2 se declara con prioridad 2 y con valor  $d_2$ .

Si en el mes en cuestión ha de existir un déficit el modelo satisface en primer lugar  $q_e$  en el tramo 1-2. Como consecuencia D2 se satisface hasta el valor del caudal ecológico, a pesar de no ser prioritaria con respecto a D1, recibirá  $q_e$  al menos, aunque esto suponga algún déficit en D1.

Otro caso interesante es el del subesquema anterior en el que el tramo 2-3 es con caudal ecológico  $q_1$  y prioridad 1, el tramo 2-4 es con caudal ecológico  $q_2$  y prioridad 2 y el tramo 5-6 es con caudal ecológico  $q_3$  y prioridad 3. Si en un mes hay déficit, en primer lugar se satisface el caudal del tramo 5-6 en una cantidad igual al mínimo entre  $q_2$  y  $q_3$ , pues una disminución de caudal sobre esa cantidad lleva consigo la acumulación de dos costes de déficits, que juntos superan al del tramo 2-3, que era mayor que cualquiera de los dos por separado. A continuación se satisface  $q_1$ .

Hay que tener cuidado por tanto con la localización de los caudales ecológicos, pues los costes de sus déficits se acumulan.

### 3.4.2.2. Caso en que se usan los valores de $K_\alpha = 10000$ , $K_\beta = 10000$ y $K_{ot} = 1$

En este caso las prioridades de los caudales mínimos y las demandas son equiparables, viniendo determinada la prioridad por el número de prioridad declarado en el dato correspondiente, pero siempre teniendo en cuenta que se tratará de satisfacer en primer lugar el primer escalón de demanda (ya sea caudal mínimo o demanda consuntiva) de todas las demandas y caudales mínimos por orden de prioridad antes de empezar a satisfacer los segundos escalones, y así sucesivamente.

Obsérvese que al ser independiente para cada demanda y cada conducción con caudal mínimo la definición de escalones, las posibilidades de jugar con las prioridades relativas son inmensas. Por ejemplo, si para una demanda o caudal mínimo se define un solo nivel, este será el primero, y hasta que no se satisfaga completamente esta demanda o caudal mínimo, no se empezará a asignar recursos a los segundos niveles de las demás demandas o caudales mínimos. En otro ejemplo, si se define para un caudal mínimo dos niveles, pero el coeficiente de división del primero es cero, tendremos un primer nivel con caudal nulo y un segundo nivel con todo el caudal mínimo, con lo cual todo el caudal mínimo pasa a situarse con menos prioridad que el primer nivel de cualquiera de las demandas restantes. Este último caso serviría para evitar que un caudal mínimo fuera prioritario sobre necesidades vitales para el sistema.

#### 3.4.2.3. Caso en que se utilizan otros valores de $K_\alpha, K_\beta, K_{\sigma t}, p_i^c, p_{i,k}^t$

Ello permite entremezclar de forma diversa caudales ecológicos y demandas en cuanto a prioridades se refiere. Ha de tenerse en cuenta que  $K_\alpha$  y  $K_\beta$  determinan niveles de costo a partir de los cuales se acumulan los  $p_i$  y  $p'_i$  respectivamente, de forma que si  $K_\alpha < K_\beta$  la prioridad viene determinada por el valor de los  $p_i^c$  y  $p_{i,k}^t$ . Aunque  $K_\alpha \neq K_\beta$  pueden entremezclarse prioridades si los valores de  $p_i^c$  o  $p_{i,k}^t$  son suficientemente grandes en valor absoluto y de signo adecuado. En definitiva lo que cuenta es el valor de  $K_\alpha$  y  $K_\beta$ .

Los  $K_{\sigma t}$  son valores absolutos, comparables a los  $K_\alpha$  y  $K_\beta$ , y pueden ser definidos distintos para cada mes. Esto permite una flexibilidad en cuanto a combinar estos costos para que en determinada época del año un determinado tipo de elemento sea prioritario y en otra época no.

### 3.4.3. Limitaciones del modelo.

El modelo OPTIGES presenta limitaciones de dos tipos. El primer tipo de limitación es de tipo conceptual y el segundo tipo es debida a las dimensiones declaradas en el software.

#### 3.4.3.1. Limitaciones conceptuales.

- Versiones anteriores a la v3.0:

El modelo no admite tramos de conducciones con pérdidas o ganancias de flujo que dependan del flujo en el tramo. Esto no tiene gran importancia en el caso de pérdidas por evaporación pues normalmente el modelo se usa en una fase de filtrado preliminar de alternativas, que después han de ser contrastadas con más detalle con modelos de simulación que si que incluyen esta consideración. Tras el desarrollo de la versión 3.0, este tipo de tramos está permitido lo que permite una aproximación mejor del sistema a la realidad.

Como ya se mencionó en el apartado que describe el elemento **embalse**, cuando un embalse alcanza el volumen mínimo, se considera que no tiene pérdidas por evaporación, de forma que el volumen no bajará nunca del mínimo declarado. Además, el volumen inicial habrá de ser igual o mayor

que el volumen mínimo declarado para el último mes del año (en caso de declarar un volumen inicial menor que dicho volumen mínimo, el modelo automáticamente sitúa el volumen inicial en un valor igual al mínimo). Ambas limitaciones obedecen a la razón de que internamente el elemento embalse maneja una capacidad útil que es la diferencia entre el volumen máximo y el volumen mínimo. No son limitaciones importantes porque normalmente el volumen mínimo debe de ser un valor muy pequeño comparado con la capacidad total de embalse, y por lo tanto las pérdidas por evaporación para ese volumen han de ser o bien prácticamente nulas, o bien muy pequeñas comparadas con el conjunto de los recursos que circulan por el embalse, por todo ello, esta simplificación no introduce errores significativos en los resultados del horizonte de planificación, ni en el análisis de los mismos. A cambio se obtiene una reducción sustancial de la memoria utilizada y del tiempo de ejecución.

- Versión 3.0:

En esta versión de OPTIGES se solucionan las limitaciones existentes de versiones anteriores. Por un lado, porque se ha introducido la posibilidad de modelar elementos que antes no existían, incrementando la importancia del proceso iterativo. Por otro, porque se ha cambiado la confección de la red de flujo, de modo que tener un volumen de embalse por debajo del mínimo ya no es causa de una solución no factible de la red, aunque el no cumplimiento con el mismo perjudica de manera importante la función objetivo (el cumplimiento de los volúmenes mínimos tiene coste muy pequeño, superado por el de los flujos asociados a pérdidas por evaporación y filtración que aún se consideran más prioritarios al ser fenómenos naturales incontrolables).

Sin embargo, la nueva versión no está exenta de limitaciones. La introducción de la componente subterránea se hace con el afán de mejorar la optimización del sistema, pero las soluciones obtenidas no son el resultado de una gestión conjunta óptima, sino a la gestión óptima del sistema superficial apoyado en la existencia del subterráneo. Esto es, todas las demandas se suministran, a priori, a través del sistema superficial pero, si alguna de ellas tiene la posibilidad de utilizar un bombeo para cubrir parte de su demanda (determinado por el nivel de suministro asociado al bombeo), sólo lo hará cuando el suministro superficial sea imposible. Si bien esto supone un gran avance respecto a la versión anterior, puesto que nos permite resolver nuevas cuestiones como cuál sería el bombeo mínimo necesario para lograr una determinada garantía en una demanda; no termina de resultar en una optimización completa del sistema.

Queda pues pendiente para futuras revisiones del modelo lograr que el proceso de optimización sea completo

#### 3.4.3.2. Limitaciones por software y hardware.

Como ya se ha dicho el modelo está pensado para ser utilizado en ordenadores PC compatibles. En principio las únicas limitaciones del programa ejecutable son la dimensión de las variables según se modifique o no el número de elementos de cada tipo. En la compilación del programa debe establecerse el número máximo de elementos y años del horizonte de optimización. Este número determina también el tamaño del archivo ejecutable y las necesidades de memoria requeridas al ordenador. La versión oficial admite un número máximo de elementos suficiente para la optimización de sistemas normales. Y el número de años máximo en la optimización es de 5.

En caso de necesidad puede compilarse versiones de Optiges con mayor número de elementos y años de los definidos por defecto.



## 4. PREPARACIÓN DE LOS ARCHIVOS DE DATOS.

Como ya se ha comentado, la primera tarea del usuario es la de confeccionar el esquema simplificado del sistema. Para ello ha de tener en cuenta las siguientes normas:

- El número máximo de cada tipo de elementos permitidos depende del tipo de ejecutable que se disponga. Las tres configuraciones básicas tienen las capacidades siguientes:

.exe	Max <sub>emb</sub>	Max <sub>apo</sub>	Max <sub>con</sub>	Max <sub>dem</sub>	Max <sub>ret</sub>	Max <sub>acu</sub>	Max <sub>rar</sub>	Max <sub>bad</sub>	Max <sub>año</sub>
Pequeño	7	10	50	15	15	5	5	5	5
Mediano	20	25	75	30	30	5	5	5	5
Grande	50	60	150	50	50	20	20	20	5

En caso que se desee, se puede suministrar un ejecutable con límites diferentes de los mencionados. Si los límites se amplían, ello se traduce en mayores tamaños de ejecutable, lo cual solo supone un problema de mayor tiempo de instalación en memoria del ejecutable para cada ejecución y los que pueda presentar la capacidad de memoria central del ordenador que se esté utilizando.

- Los nudos se han de numerar, con el único requisito de que el número más alto ha de corresponder siempre al denominado "nudo final", o nudo donde irían a parar todos los sobrantes del sistema en el caso de que los hubiera. El nudo final ha de existir siempre, y conviene recordar lo dicho en el apartado 2.2 sobre la necesidad de un cauce natural que llegue hasta el nudo final. La numeración de los nudos ha de incluir los nudos embalse y acuífero, y no incluye las demandas. Es necesario también que todo nudo al cual llegue algún elemento tenga alguna salida (excepto el nudo final), y que todo nudo del cual salga algún elemento tenga alguna entrada.

Tras la confección del esquema del sistema, el usuario ha de proporcionar un archivo de datos del problema, y uno o más archivos de aportaciones.

Opcionalmente se puede incluir un archivo de configuración del proceso en el que darle instrucciones adicionales al programa. Este archivo debe tener el nombre OPTIGES.CFG y en su contenido se puede dar las siguientes instrucciones:

- Cerrar el programa al terminar la optimización. Se incluye una línea con el texto "CODFIN" (sin las comillas) y en la línea siguiente el valor 1.
- Elegir entre emplear el algoritmo Out-of-Kilter o Relax-IV (actualmente en fase de implementación) para la resolución de la optimización. Se incluye una línea con el texto "CODOPT" (sin las comillas) y en la línea siguiente el valor 0 o el valor 1 según se desee emplear Out-of-Kilter o Relax-IV respectivamente.

## 4.1. Archivos de datos del problema.

El archivo en el momento de la utilización por el modelo se denominará DATGEN.OPT y contendrá los siguientes datos, teniendo en cuenta que los datos que figuran en una misma línea (registro) estarán separados por blancos o por comas, pues se leen en formato libre, y los títulos y nombres (alfanuméricos) han de ir entre comillas:

1ª línea: (1 dato)

- Ha de contener exactamente lo siguiente: 'V 3.0'

Nótese las comillas, así como que la V es mayúscula. Entre la V y el 2 ha de haber exactamente un espacio en blanco.

De esta forma el modelo es advertido de que los datos corresponden a la versión 2.0 del mismo. En caso de que se introduzca exactamente 'V 1.1', el modelo interpreta que los datos que siguen corresponden a la versión 1.1, e intentará leerlos de acuerdo con dicha versión. En caso de que no se introduzca exactamente ni 'V 2.2', ni 'V 1.1', el modelo interpreta que los datos que siguen corresponden a la versión 1.0, e intentará leerlos de acuerdo con la antigua versión. De esta forma el modelo es capaz de ejecutar ficheros de alternativas preparadas para las versiones 1.0 y 1.1 directamente.

2ª línea: (1 dato)

- Título 1 (hasta 80 caracteres, entre comillas)

3ª línea: (1 dato)

- Título 2 (hasta 80 caracteres, entre comillas)
- Los dos títulos están pensados para que el usuario pueda identificar fácilmente distintos outputs producidos por el modelo, pues aparecen como cabecera en los documentos que genera el programa. Normalmente el primer título se utilizará para identificar el sistema (por ejemplo 'SISTEMA DEL RÍO SEGURA'), mientras que el segundo título se utilizará para identificar la alternativa (por ejemplo: 'Hipótesis futura con infraestructura modificada'). No obstante no es obligatorio seguirse este criterio.

4ª línea: (3 datos)

- Tamaño de los períodos de optimización (en número entero de años).
- Número de períodos de optimización en el horizonte del estudio.
- Año inicial (p.e. 1940).

5ª línea: (4 datos)

- Indicador de si se quiere eco de datos (1=Sí,0=No). El eco de datos reproduce de forma clara y organizada los datos introducidos por el usuario.

- Indicador de si se quiere sólo resumen (1=Sí, 0 ó un número mayor de 100 =No). En caso de que se ponga un cero, la salida incluirá los resultados correspondientes a todos los meses del horizonte, organizados por años, como se explica más adelante. En el caso de que se ponga un número mayor que 100, se produce salida anual, pero en lugar de estar toda incluida en el mismo archivo, se fraccionará en archivos que contienen cada uno un número de años igual al exceso sobre 100 (sólo las dos últimas cifras), salvo el último archivo, que podrá contener un número menor de años, si el periodo horizonte no es múltiplo del exceso sobre 100. En caso de que se ponga un 1, solamente se incluirá un resumen del horizonte con valores medios mensuales y garantías. El resumen se produce también aunque se ponga un 0, o un número mayor que 100.
- Indicador de si se quieren datos de la red de flujo interna (0=No; 1=Sí, resumen; 2=Sí, extenso). En el caso de que se ponga un 1 el modelo da información escrita sobre el número de nudos y arcos que prevé van a ser utilizados en la red interna, así como de los resultantes después de la generación de la misma. La utilidad de estos datos es solamente para comprobar que no se sobrepasan las dimensiones del software. En el caso de que se ponga un 2 el modelo, además de la información anterior, dará un listado de todos los arcos de la red interna, indicando sus nudos inicial y final, sus capacidades máxima y mínima, el costo asociado y el caudal circulante que ha resultado de la optimización del intervalo correspondiente al número del dato que se comenta a continuación. La utilidad primaria de esta opción era la puesta a punto del modelo, pero se ha dejado como opción para facilitar el estudio del mismo, si alguien se siente inclinado a ello. Asimismo, puede ser útil para el caso en que se quiera manipular los parámetros  $K_{\alpha}$ ,  $K_{\beta}$ ,  $K_{\sigma}$ ,  $p_i$ ,  $p'_i$  y  $p''_i$  comentados en la función objetivo, como comprobación de los valores finales de los costos  $\alpha_{i,j}$ ,  $\beta_{i,j}$ ,  $K_{\sigma}$  y  $d_i$  resultantes.
- Período de optimización para el cual se quieren los datos de la red del flujo interna (Si no se ha puesto 2 en el dato anterior poner un 0, aunque cualquier entero es indiferente).

6ª línea: (6 datos)

- Número del nudo final del esquema. Normalmente coincide con el número de nudos existentes en el esquema del usuario si la numeración es correlativa, pero puede ser mayor que el número de nudos si se ha saltado algún número. En todo caso siempre ha de ser el nudo de mayor número.
- Número de nudos embalse en el esquema del usuario.
- Número de conducciones tipo 1 en el esquema del usuario. En todo esquema deberá de haber al menos una conducción.
- Número de conducciones tipo 2 en el esquema del usuario.
- Número de conducciones tipo 3 en el esquema del usuario.
- Número de aportaciones en el esquema del usuario. En todo esquema deberá de haber al menos una aportación.
- Número de demandas en el esquema del usuario.
- Número de recargas artificiales en el esquema del usuario

- Número de nudos acuífero en el esquema del usuario.
- Número de bombeos adicionales en el esquema del usuario
- Número de retornos en el esquema del usuario.

7ª línea: (3 datos)

- Coeficiente de ponderación del déficit de caudal ecológico ( $K_{\alpha}$ ).
- Coeficiente de ponderación del déficit de demandas ( $K_{\beta}$ ).
- Coeficiente de recargo por by-pass ( $K_{\sigma t}$ ), 1 por defecto.

A continuación se pondrán ocho líneas por cada **EMBALSE**, conteniendo:

1ª línea: (1 dato)

- Nombre del embalse (hasta 30 caracteres, entre comillas).

2ª línea: (1 dato)

- Número del nudo correspondiente (no puede ser el nudo final).

3ª línea: (5 datos)

- Coeficientes A, B y C de la ley de filtraciones del embalse.
- Número de acuífero al que van las filtraciones (0 si van fuera del sistema).
- Número de acción elemental (cero si el dato anterior también lo es).

4ª línea: (12 datos)

- 12 valores de volumen máximo ( $\text{Hm}^3$ ). Como en todos los demás casos en los que se requiera 12 valores mensuales el primero corresponde a Octubre, el segundo a Noviembre, y así sucesivamente, con el último valor correspondiendo a Septiembre. El valor del volumen máximo es la capacidad del embalse menos los posibles resguardos para avenidas. De forma que si en un embalse con capacidad máxima de  $100 \text{ Hm}^3$  en el mes de Octubre se ha de dejar un resguardo de  $10 \text{ Hm}^3$  para laminación de avenidas, el volumen máximo a declarar para el mes de Octubre es  $100-10=90 \text{ Hm}^3$ .

5ª línea: (12 datos)

- 12 valores de volumen mínimo físico ( $\text{Hm}^3$ ). En principio el volumen mínimo correspondería al volumen muerto de embalse, y debiera de ser igual para todos los meses. El valor del volumen útil, y que a efectos de la gestión será el volumen del embalse realmente disponible para ser utilizado en cada mes, es la diferencia entre el volumen máximo y el volumen mínimo. De forma que si en un embalse con capacidad máxima de  $100 \text{ Hm}^3$  en el mes de Octubre se ha de



dejar un resguardo de  $10 \text{ Hm}^3$  para laminación de avenidas, y además existe un volumen de embalse muerto de  $3 \text{ Hm}^3$ , el volumen mínimo a declarar para el mes de Octubre es de  $3 \text{ Hm}^3$ , y el volumen útil será  $90-2=88 \text{ Hm}^3$ .

5ª línea (10 datos)

- 10 valores de superficie de lámina de agua (ha.).

6ª línea (10 datos)

- 10 valores de volumen ( $\text{Hm}^3$ ) correspondientes a las superficies de lámina de agua anteriores.

7ª línea (12 datos)

- 12 valores de evaporación media mensual (mm).

8ª línea: (3 datos)

- Volumen inicial ( $\text{Hm}^3$ ).
- Indicador de resultados en archivo gráficos (0=No, 1=Sí). Si se introduce un 1, los resultados de volumen a final de cada mes serán almacenados en un archivo, cuyo contenido se especificará más adelante, de forma que será posible el obtener gráficos de la evolución del embalse y de valores medios mensuales de la misma. Por motivos de tamaño de archivo resultante no se admite que más de 200 embalses sean incluidos en dicho archivo.
- Número de prioridad del embalse. Como puede verse en la función objetivo, sirve únicamente para primar el almacenamiento de agua al final de cada período de optimización. De esta forma el usuario puede especificar que prefiere que al final de cada período de optimización el agua esté en un embalse aguas arriba, pues al modelo le resulta indiferente.

A continuación se pondrán cinco, o seis, o siete líneas por cada **CONDUCCIÓN DE TIPO 1**, conteniendo:

1ª línea: (1 dato)

- Nombre de la conducción (hasta 30 caracteres, entre comillas).

2ª línea: (3 datos)

- Nudo inicial.
- Nudo final. El modelo asume que el agua circula solamente del nudo inicial al nudo final.
- Indicador  $I_c$ , de ponderación del caudal circulante y que valdrá:
  - o 0 - Conducción normal (implica  $K_{\sigma t}=0$ ).
  - o 1 - By-pass. Implica que  $K_{\sigma t}=1$ .

- 2 - Implica que el coeficiente de ponderación  $K_{ct}$  va a ser definido por el usuario para cada mes en la línea 5ª.

3ª línea: (12 datos)

- 12 valores de caudal mínimo (uno por cada mes) en  $\text{Hm}^3/\text{mes}$ . Si no se prescribe caudal mínimo, se pondrán doce valores iguales a cero.

4ª línea: (12 datos)

- 12 valores de caudal máximo (uno por cada mes) en  $\text{Hm}^3/\text{mes}$ . Véase el comentario en el apartado 2.2 sobre caudal máximo. Si no se quiere limitar el caudal máximo conviene poner un valor alto de capacidad mensual, como por ejemplo  $1000 \text{Hm}^3/\text{mes}$ .

5ª línea: (Si  $I_c \neq 2$  no existe esta línea) (12 datos)

- Si  $I_c = 2$ : contendrá 12 valores del valor de  $K_{ct}$  asignados por el usuario (uno por cada mes). Salvo que se tenga muy claro los motivos que nos inducen a hacerlo, no es aconsejable usar la opción  $I_c=2$  en la segunda línea, y por tanto no es aconsejable definir los  $K_{ct}$ . Un ejemplo sería cuando hay una voluntad de que pase agua por un sitio en un determinado mes, si se le pone coste negativo ese mes muy alto, tenderá a pasar.

6ª línea (ó 5ª si  $I_c \neq 2$ ): (3 datos)

- Número de prioridad asignado al caudal mínimo. (Normalmente entre 1 y 100, correspondiendo la prioridad máxima al número más bajo).
- Indicador de resultados en archivo de gráficos (0=No, 1=Sí). Si se introduce un 1, los resultados de caudal circulado cada mes serán almacenados en un archivo, cuyo contenido se especificará más adelante, de forma que será posible el obtener gráficos de la evolución de los caudales circulados para la conducción y de valores medios mensuales de los mismos. Por motivos de tamaño de archivo resultante no se admite que más de 200 conducciones sean incluidas en dicho archivo.
- Coeficiente A para la determinación de fallo para el cálculo de garantías. Para el significado de este coeficiente puede verse el apartado 6.1, archivo RESUMEN.OPT, en la parte correspondiente a conducciones. Hay que proporcionar siempre este dato, aunque no haya caudal mínimo distinto de cero. En este último caso se puede poner un cero, por ejemplo.

7ª línea (ó 6ª si  $I_c \neq 2$ ) (si los caudales mínimos de la línea 3 son todos nulos, esta línea no existirá): (3 datos)

- Coeficiente C1 de separación del primer y el segundo nivel de caudal mínimo.
- Coeficiente C2 de separación del segundo y el tercer nivel de caudal mínimo.
- Coeficiente C3 de separación del tercer y el cuarto nivel de caudal mínimo.

Es obligatorio proporcionar siempre tres coeficientes si los caudales mínimos son distintos de cero. Los coeficientes son en %. De esta forma se definen los niveles siguientes:

1er. nivel: un caudal entre 0 y  $Q_{\min} \cdot C1/100$ .

2º nivel: un caudal entre  $Q_{\min} \cdot C1/100$  y  $Q_{\min} \cdot C2/100$ .

3er. nivel: un caudal entre  $Q_{\min} \cdot C2/100$  y  $Q_{\min} \cdot C3/100$ .

4º nivel: un caudal entre  $Q_{\min} \cdot C3/100$  y  $Q_{\min}$ .

En el caso de que alguno de los C1, C2, o C3 sea igual a 100, ello implica que el número de niveles a contemplar es menor. Si C1=100, entonces todo el caudal mínimo está en el primer nivel. Si C2=100, entonces se contemplan dos niveles y si C3=100, tres. En todo caso siempre hay que dar tres valores menores o iguales que 100 y de forma que  $C1 \leq C2 \leq C3$ .

A continuación se pondrán seis o siete líneas por cada **CONDUCCIÓN DE TIPO 2**, conteniendo:

1ª línea: (1 dato)

- Nombre de la conducción (hasta 30 caracteres, entre comillas).

2ª línea: (3 datos)

- Nudo inicial.
- Nudo final. El modelo asume que el agua circula solamente del nudo inicial al nudo final.

3ª línea: (12 datos)

- 12 valores de caudal mínimo (uno por cada mes) en  $Hm^3/mes$ . Si no se prescribe caudal mínimo, se pondrán doce valores iguales a cero.

4ª línea: (12 datos)

- 12 valores de caudal máximo (uno por cada mes) en  $Hm^3/mes$ . Véase el comentario en el apartado 2.2 sobre caudal máximo. Si no se quiere limitar el caudal máximo conviene poner un valor alto de capacidad mensual, como por ejemplo  $1000 Hm^3/mes$ .

5ª línea: (5 datos)

- Número de acuífero al que van las filtraciones (0 si van fuera del sistema).
- Número de acción elemental (cero si el dato anterior también lo es).
- Coeficientes A, B y C de la ley de filtraciones de la conducción.

6ª línea: (3 datos)

- Número de prioridad asignado al caudal mínimo. (Normalmente entre 1 y 100, correspondiendo la prioridad máxima al número más bajo).

- Indicador de resultados en archivo de gráficos (0=No, 1=Sí). Si se introduce un 1, los resultados de caudal circulado cada mes serán almacenados en un archivo, cuyo contenido se especificará más adelante, de forma que será posible el obtener gráficos de la evolución de los caudales circulados para la conducción y de valores medios mensuales de los mismos. Por motivos de tamaño de archivo resultante no se admite que más de 200 conducciones sean incluidas en dicho archivo.
- Coeficiente A para la determinación de fallo para el cálculo de garantías. Para el significado de este coeficiente puede verse el apartado 6.1, archivo RESUMEN.OPT, en la parte correspondiente a conducciones. Hay que proporcionar siempre este dato, aunque no haya caudal mínimo distinto de cero. En este último caso se puede poner un cero, por ejemplo.

7ª línea (si los caudales mínimos de la línea 3 son todos nulos, esta línea no existirá): (3 datos)

- Coeficiente C1 de separación del primer y el segundo nivel de caudal mínimo.
- Coeficiente C2 de separación del segundo y el tercer nivel de caudal mínimo.
- Coeficiente C3 de separación del tercer y el cuarto nivel de caudal mínimo.

Es obligatorio proporcionar siempre tres coeficientes si los caudales mínimos son distintos de cero. Los coeficientes son en %. De esta forma se definen los niveles siguientes:

1er. nivel: un caudal entre 0 y  $Q_{\min} \cdot C1/100$ .

2º nivel: un caudal entre  $Q_{\min} \cdot C1/100$  y  $Q_{\min} \cdot C2/100$ .

3er. nivel: un caudal entre  $Q_{\min} \cdot C2/100$  y  $Q_{\min} \cdot C3/100$ .

4º nivel: un caudal entre  $Q_{\min} \cdot C3/100$  y  $Q_{\min}$ .

En el caso de que alguno de los C1, C2, o C3 sea igual a 100, ello implica que el número de niveles a contemplar es menor. Si C1=100, entonces todo el caudal mínimo está en el primer nivel. Si C2=100, entonces se contemplan dos niveles y si C3=100, tres. En todo caso siempre hay que dar tres valores menores o iguales que 100 y de forma que  $C1 \leq C2 \leq C3$ .

A continuación se pondrán seis o siete líneas por cada **CONDUCCIÓN DE TIPO 3**, conteniendo:

1ª línea: (1 dato)

- Nombre de la conducción (hasta 30 caracteres, entre comillas).

2ª línea: (3 datos)

- Nudo inicial.
- Nudo final. El modelo asume que el agua circula solamente del nudo inicial al nudo final.

3ª línea: (12 datos)

- 12 valores de caudal mínimo (uno por cada mes) en  $\text{Hm}^3/\text{mes}$ . Si no se prescribe caudal mínimo, se pondrán doce valores iguales a cero.

4ª línea: (12 datos)

- 12 valores de caudal máximo (uno por cada mes) en  $\text{Hm}^3/\text{mes}$ . Véase el comentario en el apartado 2.2 sobre caudal máximo. Si no se quiere limitar el caudal máximo conviene poner un valor alto de capacidad mensual, como por ejemplo  $1000 \text{Hm}^3/\text{mes}$ .

5ª línea: (4 datos)

- Número de acuífero al que está conectada la conducción.
- Número de parámetro de control correspondiente a la relación.
- Número de acción elemental para la compensación de detracciones del río imposibles (válido para acuíferos tipo 1, 5 y 6; para el resto la acción elemental está prefijada).
- Valor del coeficiente de reparto del caudal detraído si hubiese más de una conducción conectada al mismo acuífero (los diferentes coeficientes deben sumar 1)

6ª línea: (3 datos)

- Número de prioridad asignado al caudal mínimo. (Normalmente entre 1 y 100, correspondiendo la prioridad máxima al número más bajo).
- Indicador de resultados en archivo de gráficos (0=No, 1=Sí). Si se introduce un 1, los resultados de caudal circulado cada mes serán almacenados en un archivo, cuyo contenido se especificará más adelante, de forma que será posible el obtener gráficos de la evolución de los caudales circulados para la conducción y de valores medios mensuales de los mismos. Por motivos de tamaño de archivo resultante no se admite que más de 200 conducciones sean incluidas en dicho archivo.
- Coeficiente A para la determinación de fallo para el cálculo de garantías. Para el significado de este coeficiente puede verse el apartado 6.1, archivo RESUMEN.OPT, en la parte correspondiente a conducciones. Hay que proporcionar siempre este dato, aunque no haya caudal mínimo distinto de cero. En este último caso se puede poner un cero, por ejemplo.

7ª línea (si los caudales mínimos de la línea 3 son todos nulos, esta línea no existirá): (3 datos)

- Coeficiente C1 de separación del primer y el segundo nivel de caudal mínimo.
- Coeficiente C2 de separación del segundo y el tercer nivel de caudal mínimo.
- Coeficiente C3 de separación del tercer y el cuarto nivel de caudal mínimo.

Es obligatorio proporcionar siempre tres coeficientes si los caudales mínimos son distintos de cero. Los coeficientes son en %. De esta forma se definen los niveles siguientes:

1er. nivel: un caudal entre 0 y  $Q_{\min} \cdot C1/100$ .

2º nivel: un caudal entre  $Q_{\min} \cdot C1/100$  y  $Q_{\min} \cdot C2/100$ .

3er. nivel: un caudal entre  $Q_{\min} \cdot C2/100$  y  $Q_{\min} \cdot C3/100$ .

4º nivel: un caudal entre  $Q_{\min} \cdot C3/100$  y  $Q_{\min}$ .

En el caso de que alguno de los C1, C2, o C3 sea igual a 100, ello implica que el número de niveles a contemplar es menor. Si  $C1=100$ , entonces todo el caudal mínimo está en el primer nivel. Si  $C2=100$ , entonces se contemplan dos niveles y si  $C3=100$ , tres. En todo caso siempre hay que dar tres valores menores o iguales que 100 y de forma que  $C1 \leq C2 \leq C3$ .

A continuación se pondrán 11 líneas por cada **DEMANDA**, conteniendo:

1ª línea: (1 dato)

- Nombre de la demanda (hasta 30 caracteres, entre comillas).

2ª línea: (9 datos)

- Número de acuífero al que recarga.
- Número de acción elemental de la recarga.
- Número de acuífero del que bombea.
- Número de acción elemental del bombeo.
- Número del parámetro de control para test de autorización de bombeo (si es 0, el bombeo siempre está autorizado).
- Valor umbral del parámetro de control anterior, por debajo del cual no se autorizan bombeos.
- Caudal máximo de bombeo ( $Hm^3/mes$ ).
- Nivel de demanda para el cual se activa el bombeo.
- Prioridad del bombeo.

3ª línea: (1 dato)

- Demanda total anual (en  $Hm^3$ ).

4ª línea: (12 datos)

- 12 coeficientes de reparto mensual de la demanda en % mensual (la suma de los 12 valores será 100).

5ª línea: (4 datos)

- Número de prioridad asignado a la demanda (normalmente entre 1 y 99, correspondiendo la prioridad máxima al número más bajo).
- Indicador de resultados en archivo de gráficos (0=No, 1=Sí). Si se introduce un 1, los resultados de déficit sufrido en cada mes serán almacenados en un archivo, cuyo contenido se especificará más adelante, de forma que será posible el obtener gráficos de la evolución de los déficits producidos para la demanda y de valores medios mensuales de los mismos. Se ha preferido representar en los gráficos déficits en vez de volúmenes suministrados debido a que es más fácil el análisis gráfico por parte del usuario dado que las curvas de volúmenes suministrados son muy parecidas de un año para otro, y sería difícil distinguir cuando se ha producido un déficit. Por motivos de tamaño de archivo resultante no se admite que más de 200 conducciones sean incluidas en dicho archivo.

Los valores en aquellas líneas en las que se pide más de 1 dato (p.e. valores mensuales), estarán separados por blanco o por una coma, pues son leídos en formato libre.

6ª línea: (3 datos)

- Coeficiente C1 de separación del primer y el segundo nivel de demanda.
- Coeficiente C2 de separación del segundo y el tercer nivel de demanda.
- Coeficiente C3 de separación del tercer y el cuarto nivel de demanda.

Es obligatorio proporcionar siempre tres coeficientes. Los coeficientes son en %. De esta forma se definen los niveles siguientes:

1er. nivel: una parte de la demanda entre 0 y  $D.C1/100$ .

2º nivel: una parte de la demanda entre  $D.C1/100$  y  $D.C2/100$ .

3er. nivel: una parte de la demanda entre  $D.C2/100$  y  $D.C3/100$ .

4º nivel: una parte de la demanda entre  $D.C3/100$  y D.

En el caso de que alguno de los C1, C2, o C3 sea igual a 100., ello implica que el número de niveles a contemplar es menor. Si  $C1=100$ , entonces toda la demanda está en el primer nivel. Si  $C2=100$ , entonces se contemplan dos niveles y si  $C3=100$ , tres. En todo caso siempre hay que dar tres valores menores o iguales que 100 y de forma que  $C1 \leq C2 \leq C3$ .

7ª línea: (8 datos)

- Coeficiente A para determinación del fallo en la garantía mensual (entre 0 y 100).
- Coeficientes B y C para determinación del fallo en la garantía anual (entre 0 y 100).
- Coeficientes D, E y F para la determinación del fallo según criterio tipo Utah DWR. Con valores 50, 75 y 100% se establece el criterio de garantía de los planes hidrológicos de 2008 (valores entre 0 y 100).

- Coeficientes  $G$  y  $H$  para el cálculo del criterio de garantía establecido en la IPH (2008) para demandas urbanas (en principio 10% y 8%)(valores entre 0 y 100).

Para el significado de estos coeficientes puede verse el apartado 6.1, archivo RESUMEN.OPT, en la parte correspondiente a demandas.

8ª línea: (1 dato)

- Número de tomas de las que se sirve la demanda.

Por cada toma se escribirán 6 líneas más, conteniendo:

1ª línea: (1 dato)

- Nombre de la toma.

2ª línea: (1 dato)

- Nudo de toma.

3ª línea: (3 datos)

- Dotación anual ( $\text{Hm}^3$ ).
- Coeficiente de retorno (entre 0 y 1).
- Coeficiente de consumo (entre 0 y 1).

4ª línea: (1 dato)

- Número de prioridad de la toma.

5ª línea: (1 dato)

- Número del elemento de retorno usado

6ª línea: (12 datos)

- 12 valores de punta mensual ( $\text{Hm}^3/\text{mes}$ ).

A continuación se pondrán dos líneas por cada **ELEMENTO DE RETORNO** conteniendo:

1ª línea: (1 dato)

- Nombre del elemento de retorno (hasta 30 caracteres, entre comillas)

2ª línea: (1 dato)

- Número del nudo donde se incorporan los retornos (no puede ser nudo final).



A continuación se pondrán dos líneas por cada elemento de **RECARGA ARTIFICIAL** conteniendo:

1ª línea: (1 dato)

- Nombre del elemento de recarga.

2ª línea: (4 datos)

- Nudo de toma.
- Número de acuífero.
- Número de acción elemental.
- Caudal máximo de recarga ( $\text{Hm}^3/\text{mes}$ ).

A continuación se pondrán cuatro líneas por cada **APORTACIÓN** conteniendo:

1ª línea: (1 dato)

- Nombre de la aportación (hasta 30 caracteres, entre comillas).

2ª línea: (1 dato)

- Nudo al que se incorpora (no puede ser el nudo final).

3ª línea: (1 dato)

- Nombre del archivo de aportación que contiene los datos (entre comillas y con su extensión, por ejemplo: 'CABRIEL.APO'). Conviene por motivos de organización que la extensión sea .APO, si bien no es obligatorio.

4ª línea: (1 dato)

- Coeficiente por el cuál se han de multiplicar los valores del archivo.

Si los datos del archivo son en  $\text{Hm}^3/\text{mes}$  y corresponden exactamente a las aportaciones a considerar, el coeficiente de la 4ª línea será igual a 1. Si se está utilizando un archivo con datos correspondientes a una cuenca mayor, y la relación de áreas es 0.57, entonces si se pone un coeficiente igual a 0.57, el modelo multiplicará los datos del archivo por ese valor obteniendo aportaciones adecuadas para ese punto. Así mismo, si los datos del archivo están en  $\text{m}^3/\text{seg}$  y se pone un coeficiente de 2.592, al multiplicar por dicho coeficiente los datos, se están convirtiendo a las unidades de  $\text{Hm}^3/\text{mes}$ .

A continuación se pondrán tres líneas por cada **ACUÍFERO**, conteniendo:

1ª línea: (1 dato)

- Nombre del acuífero (hasta 30 caracteres, entre comillas).

2ª línea: (1 dato)

- Número del nudo correspondiente (no puede ser el nudo final).

3ª línea: (2 datos)

- Valor del coeficiente de almacenamiento "alpha" (en  $\text{mes}^{-1}$ ).
- Volumen inicial contenido en el acuífero.

En principio las restricciones para el diseño de un esquema de usuario han sido expuestas para cada tipo de datos. Además, se tienen las siguientes:

- A todo nudo del que salga alguna conducción, o toma de demanda, deberá de llegar al menos una aportación o una conducción o un retorno.
- De todo nudo al que llegue una conducción, o una aportación o un retorno deberá de salir al menos una conducción o una toma de demanda. Excepción a esta regla es el nudo final.
- Pueden existir nudos inertes (no usados) a los que no llegue ni salga ningún elemento.

## 4.2. Archivos de datos de aportaciones.

Es necesario suministrar para cada aportación declarada en el esquema un archivo de datos diferente.

Cada archivo de datos de aportaciones contendrá datos hidrológicos que en principio habrán de estar en unidades de  $\text{Hm}^3/\text{mes}$ , aunque mediante el uso del coeficiente multiplicador visto en los datos generales se puede obviar este requisito y el cambio de unidades ser efectuado por el modelo. La estructura del fichero será la que sigue:

- Las 9 primeras líneas pueden contener cualquier cosa. Por ejemplo, texto que sirva para identificar la estación de aforo a que corresponde el archivo, y comentarios sobre los datos
- La línea 10 puede contener una cabecera de los datos que más abajo se especifica.
- La línea 11 puede contener una línea que sirva de separador entre la cabecera y los valores que figuran abajo.
- Las líneas 12 y siguientes tendrán cada una 13 datos organizados en un formato como sigue:

columna 1: en blanco

columnas 2 a 8: etiqueta del año hidrológico en la forma 1940/41.

columna 9: en blanco

columna 10 a 18: el valor de la aportación correspondiente al primer mes del año hidrológico etiquetado, en formato F9.2.

columna 19 a 27: el valor de la aportación correspondiente al segundo mes del año hidrológico etiquetado, en formato F9.2.

columna 28 a 117: los valores de las aportaciones correspondientes a los meses tres a doce del año hidrológico etiquetado, en el mismo formato que los anteriores.

Se supone que los años hidrológicos son correlativos, y que el rango de años hidrológicos contenido en el archivo incluye el rango de años hidrológicos pedidos en la ejecución del modelo. En caso contrario, la ejecución se detiene, obteniéndose el correspondiente mensaje de error.



## 5. RESULTADOS

El modelo OPTIGES proporciona resultados a través de ficheros ASCII. Los ficheros que produce se describen a continuación.

### 5.1. Archivos para escritura

En principio tres archivos son destinados a ser posteriormente escritos por impresora:

-"ECODATOS.OPT".

El archivo contiene los mensajes de error que pueda haberse producido durante la ejecución. Además, si se ha dado un 1 en la opción de eco de datos del archivo de datos generales, el archivo producido contiene una repetición de los datos introducidos, pero expuestos de forma ordenada y clara.

-"RESULT.OPT".

Si se ha dado un 1 o un 2 en la opción de escritura de red del archivo de datos generales el archivo RESULT.OPT contendrá información sobre los máximos de elementos permitidos y el tamaño de la red generada. Además, si se ha dado un 2 en la opción de escritura de red del archivo de datos generales contendrá un listado con los arcos de la red interna, sus límites inferiores y superiores, los costos ficticios y el flujo después de la solución del período de optimización indicado en el mismo archivo.

Si se ha dado un 0 en la opción de "escritura solo resumen" del archivo de datos generales contiene los valores de todas las variables de interés para cada mes del horizonte organizados por años hidrológicos. Así para cada año se tiene:

- En primer lugar los valores de las aportaciones con su total anual.
- A continuación, para todos los embalses el volumen al final de cada mes y la media de volumen embalsado en el año, y los valores de evaporación para cada mes, y el total anual.
- Para todas las conducciones, los volúmenes mensuales circulados en  $\text{Hm}^3/\text{mes}$  y el total y el total anual.
- A continuación, para todas las conducciones, las mismas variables anteriores pero expresadas en  $\text{m}^3/\text{seg}$  y la media anual.
- Para todas las demandas, los valores del agua suministrada mensualmente, así como el déficit experimentado, con sus correspondientes totales anuales.
- Para todos los elementos de retorno, los volúmenes mensuales reintegrados, así como el total anual.

Si se ha dado un valor superior a 100 (por ejemplo 1YY), en la opción de "escritura sólo resumen", se obtiene un archivo RESULT.OPT que salvo algún mensaje de error de datos o generación, estará vacío, mientras que los resultados anuales estarán en archivos con nombre

RESULT y extensión .XXX, en la que XXX son las tres últimas cifras del primer año hidrológico del grupo de YY años en que se fracciona el archivo de salidas anuales.

-"RESUMEN.OPT".

Este archivo se produce siempre. Contiene los valores medios durante el horizonte de la alternativa de los resultados mencionados en el punto anterior. Además contiene:

- Para embalses: el número de llenados y vaciados, en valor absoluto y en tanto por ciento de meses.
- Para conducciones: proporciona además el número de fallos de caudales mínimos, así como la garantía, definida como:

$$G_e = \left[ 1 - \left( \frac{n^{\circ} \text{ de fallos}}{n^{\circ} \text{ de meses totales}} \right) \right] \cdot 100 \text{ (en \%)} \quad (23)$$

Un fallo se produce siempre que el caudal circulante sea menor que el caudal mínimo definido por el usuario y que el déficit consiguiente sea mayor que A% de dicho caudal mínimo.

Proporciona además una agrupación de los fallos por magnitud, de forma que un fallo de magnitud 1 corresponde a una violación de caudal mínimo con un caudal inferior al primer nivel definido por el usuario, un fallo de magnitud 2 corresponde a un caudal circulante inferior al segundo nivel definido por el usuario pero superior al primer nivel, un fallo de magnitud 3 corresponde a un caudal circulante inferior al tercer nivel definido por el usuario pero superior al segundo nivel, y un fallo de magnitud 4 corresponde a un caudal circulante inferior al caudal mínimo pero superior al tercer nivel. De esta forma los fallos más severos son los de magnitud 1 y los más suaves los de magnitud 4.

- Para las demandas el resumen proporciona también los siguientes criterios de comportamiento:
  - Garantía mensual definida como:

$$G_m = \left[ 1 - \left( \frac{n^{\circ} \text{ de fallos}}{n^{\circ} \text{ de meses totales}} \right) \right] \cdot 100 \text{ (en \%)} \quad (24)$$

considerando como fallo un mes con un déficit mayor que A% de la demanda mensual.

- Garantía volumétrica, definida cómo:

$$G_v = \left[ \left( \frac{\text{volumen suministrado}}{\text{volumen total demandado}} \right) \right] \cdot 100 \text{ (en \%)} \quad (25)$$

- El máximo déficit en un mes, y el máximo déficit en dos meses consecutivos.
- La Garantía anual definida como:

$$G_a = \left[ 1 - \left( \frac{n^\circ \text{ de fallos anuales}}{n^\circ \text{ de años}} \right) \right] \cdot 100 \text{ (en \%)} \quad (26)$$

Se considera que se produce un fallo anual cuando dentro de un año el déficit en un mes es superior al B% de la demanda mensual, o el déficit total anual es superior al C% de la demanda total anual.

- El número de fallos según un criterio del tipo "Utah DWR" (F.Estrada, 1991) que considera como fallo cuando se produce alguna de las tres circunstancias siguientes:
  - El déficit en un año supera el D% de la demanda anual.
  - El déficit en dos años consecutivos supera el E% de la demanda anual.
  - El déficit en diez años consecutivos supera el F% de la demanda anual.

Nota: los valores de los coeficientes A, B, C, D, E y F mencionados arriba en los criterios de evaluación son suministrados por el usuario en el archivo de datos generales para cada demanda.

## 5.2. Archivos para gráficos

Además de los resultados anteriores, que están pensados para ser obtenidos de forma escrita a partir de los archivos correspondientes, el modelo confecciona otros archivos para uso posterior. Comoquiera que la utilización principal prevista para el modelo es la de obtención de reglas de operación de sistemas de recursos hidráulicos, este habrá de ser utilizado para un mismo sistema bajo distintas hipótesis de desarrollo de infraestructuras, y para un número razonable de series de datos de aportaciones. Será por tanto necesario modificar los datos del modelo y analizar los resultados. Para facilitar esta última tarea se ha previsto que el modelo guarde en sendos archivos, resultados que afectan a embalses, conducciones y demandas. Los archivos y su estructura son los siguientes:

- "EMBALSES.PRN"

El modelo guarda en el archivo denominado "EMBALSES.PRN" los resultados correspondientes al volumen a final de mes de aquellos embalses (hasta 200) en los que se haya indicado que se quiere resultado en archivo (Ver apartado 5.1, en datos correspondientes a embalses, 8ª línea, 2º dato), juntamente con otros valores de interés a la hora de producir gráficos. El archivo EMBALSES. PRN, en ASCII, contendrá:

Primera fila:

Número de años del horizonte, nombre de la pasada (Titulo 1º).

Segunda fila:

Encabezamiento de columnas. En la primera columna un encabezamiento en blanco (" "). Las columnas siguientes contienen un nombre de embalse.

Filas 3 a 14:

En la columna 1ª un número del 1 al 12 indicando el mes. En cada columna de embalse (de la 2 a la 200), el valor correspondiente al volumen máximo para ese embalse y para el mes indicado en la columna 1ª.

Fila 15:

En la columna 1ª un 0. En columnas siguientes el valor inicial del embalse correspondiente.

Filas 16 a 15+(Nx12):

En la columna 1ª números correlativos del 1 al Nx12, que indican el mes. En las siguientes columnas los valores de los volúmenes a final de mes de los embalses correspondientes para el mes indicado en 1ª columna.

Filas 16+(Nx12) a 25+(Nx12) (últimas 12 líneas):

En la 1ª columna un número del 1 al 12 indicando el mes. En las columnas siguientes los valores medios del horizonte de los volúmenes a fin de mes de los embalses correspondientes para el mes indicado en la 1ª columna.

Si se utilizan  $M < 200$  columnas para salida de resultados, a partir de la columna  $M+1$  los valores correspondientes son nulos para números y blancos para encabezamientos.

El número total de filas es por tanto de  $(N \times 12) + 27$  siendo  $N$  el número de años del período total en estudio.

#### - "CONDUCCI.PRN"

El modelo guarda en el archivo denominado "CONDUCCI.PRN" los resultados correspondientes al volumen circulado en cada mes para aquellas conducciones (hasta 200) en las que se haya indicado que se quiere resultado en archivo (Ver apartado 5.1, en datos correspondientes a conducciones, 6ª línea, 2º dato).

La estructura del archivo CONDUCCI.PRN es parecida a la descrita para el archivo EMBALSES.PRN:

La 1ª y 2ª líneas son iguales a las descritas en EMBALSES.PRN.

La 3ª a 14ª línea contienen los caudales mínimos mensuales declarados.

La 15ª a 26ª línea contienen los caudales máximos mensuales declarados.

Las líneas 27 a 26+(Nx12) contienen los caudales mensuales obtenidos para todo el horizonte. Y las líneas 27+(Nx12) a 38+(Nx12) (Son las 12 últimas líneas) contienen los valores medios mensuales del caudal.

#### - "DEMANDAS.PRN"

El modelo guarda en el archivo denominado "DEMANDAS.PRN" los resultados correspondientes al déficit registrado en cada mes por aquellas demandas (hasta 200) en las



que se haya indicado que se quiere resultado en archivo (ver apartado 5.1, en datos correspondientes a demandas, 5ª línea, 4º dato).

La estructura del archivo DEMANDAS.PRN es parecida a las descritas anteriormente.

La 1ª y 2ª líneas son iguales a las descritas en EMBALSES.PRN.

La 3ª a 14ª líneas contienen las demandas mensuales declaradas.

La 15ª a la 14+(Nx12) contienen los déficits mensuales obtenidos para todo el horizonte y las líneas 15+(Nx12) a 26+(Nx12) (Últimas 12 líneas) contienen los valores medios mensuales de los déficits.

- "OPTIGES.info" y "TABLAOPT.TXT "

El modelo guarda además todos los resultados de la simulación en el archivo "TABLAOPT.TXT" para ser procesados por otros programas. Este archivo contiene una fila de datos por cada mes de la simulación, sin ninguna línea de títulos. Los datos en cada línea están ordenados según el orden que se describe a continuación. Además, se escribe el archivo "OPTIGES.info", el cual contiene una línea de texto por cada serie de datos contenida en el primer archivo. El orden de estos títulos es el orden de los datos en el archivo TABLA.DIR.

- Datos de aportaciones
- Volumen final de embalses
- Evaporación de embalses
- Filtración de embalses
- Caudal en conducciones tipo 1
- Caudal al final del tramo en conducciones tipo 2
- Filtraciones de las conducciones tipo 2
- Caudal al final del tramo en conducciones tipo 3
- Caudal de conexión con el acuífero en conducciones tipo 3
- Demanda solicitada
- Suministro superficial a demandas
- Suministro subterráneo a demandas
- Déficit de suministro a demandas
- Suministro por tomas a demandas
- Retorno en elementos de retorno

- Recargas artificiales al acuífero
- Bombeos adicionales del acuífero
- Volumen de los acuíferos
- Recarga neta a los acuíferos
- Bombeo total de los acuíferos
- Caudal detraído del río de los acuíferos

En el ejemplo de aplicación que se expone a continuación se presentan muestran los gráficos que pueden obtenerse con el módulo eGraf incluido en la herramienta AQUATOOL+. Adicionalmente, los resultados de los archivos "OPTIGES.info" y "TABLAOPT.txt" pueden exportarse a una hoja de Excel para elaborar gráficos e informes desde dicha herramienta.



## 6. EJEMPLO DE APLICACIÓN

A continuación se expone la utilización del modelo para la optimización de un esquema simplificado correspondiente a la cuenca río Mayu, un sistema de recursos hídricos ficticio que se describe a continuación. Adicionalmente, puede encontrarse más información sobre este sistema en la página web de Aquatool (<http://www.upv.es/aquatool/cursos.html>).

Supongamos que después de analizar el sistema de recursos se hubiera decidido utilizar el esquema simplificado de la figura 3.

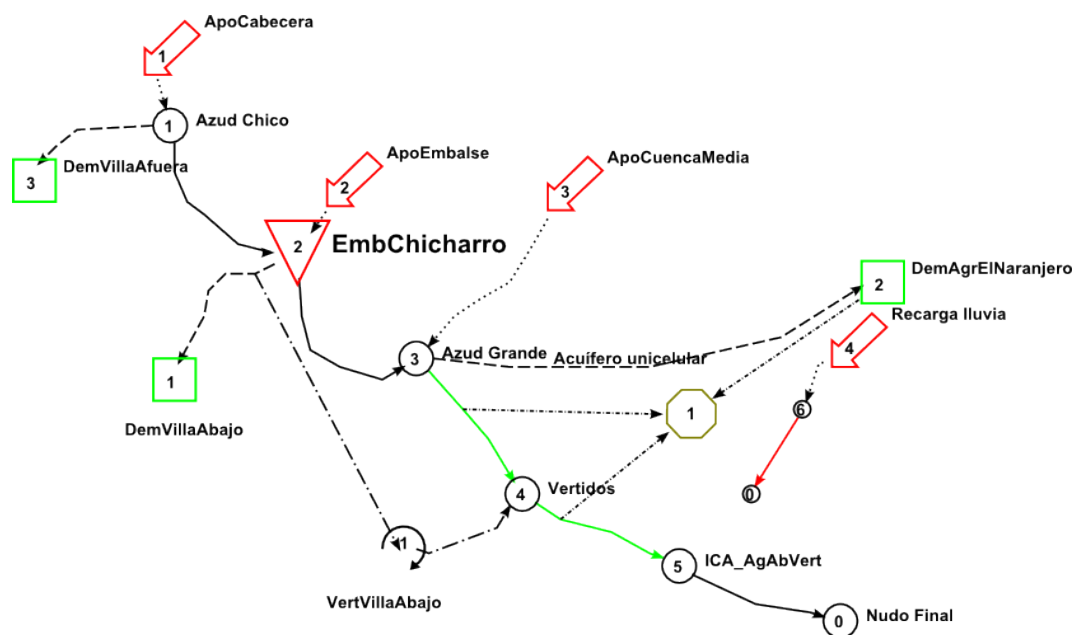


Figura 3. Esquema del sistema de recursos hídricos del río Mayu

### 6.1. Descripción del sistema.

Este sistema consta de los siguientes elementos para su gestión:

- Dispone de un embalse "Chicharro" utilizado principalmente a suministrar agua a la población de "Villa Abajo".
- La población de "Villa Abajo" es el usuario prioritario de las aguas del río, tiene su captación de aguas en el embalse y vierte sus aguas residuales al mismo río.
- Aguas abajo de esta población existe un azud llamado "Azud Grande" del que se extrae agua para el riego de la zona agrícola de "El Naranjero".
- La zona agrícola de "El Naranjero" zona agrícola se nutre principalmente de las aportaciones de la cuenca media, aunque puede también recibir agua del embalse. Además, para garantizar el suministro de la demanda agrícola, se permite el bombeo mediante pozos desde un acuífero aluvial en conexión con el río en un tramo comprendido entre el Azud Grande y la ICA situada aguas abajo del retorno de los vertidos de Villa Abajo.

- La recarga del acuífero por lluvia se estima en unos 100 mm/año, aunque no se dispone de una serie de datos más precisa.
- El vertido de las aguas residuales de Villa Abajo se incorpora al río aguas abajo del Azud Grande.
- Aguas arriba del embalse existe un azud "Azud Chico", mediante el cual es posible la extracción de agua para la población de "Villa Afuera". La cual dispone de otras fuentes de suministro principales, pero al ser estas insuficientes se le permite extraer agua del Azud Chico siempre que esta extracción no perjudique las garantías en el sistema del río Mayu.
- Se dispone de datos mensuales históricos de aforo desde 1940 a 2000 en el Azud Chico, en el embalse y en el Azud Grande.

## 6.2. Esquema del usuario.

El esquema del usuario de la figura anterior refleja los elementos descritos mediante la utilización de:

- 7 nudos. Nótese que el embalse se numera conjuntamente con los otros nudos. Nótese asimismo que el nudo 7 se corresponde con el nudo final del sistema y se le asigna el número 0.
- 6 conducciones, de las cuales 3 son conducciones normales (TR1), 1 es una tramo con pérdidas (TR2) y 2 están conectadas hidráulicamente al acuífero (TR3).
- 4 aportaciones
- 3 demandas con una toma cada una. Además, la demanda correspondiente a la zona de regadío tiene permitido bombear del acuífero para suplir todos los niveles de demanda
- 1 retorno
- 1 acuífero

## 6.3. Archivos de datos generales.

El archivo de datos que se utilizaría sería el que puede verse en las páginas siguientes. Comentamos a continuación su contenido:

```
Línea 1: 'V3.0'
Línea 2: 'Parte de simulación delacuenca'
Línea 3: 'Rio Mayu'
Línea 4: 601 1940
Línea 5: 1 000
Línea 6: 111312430101
Línea 7: 2000010000 1
Línea 8: 'EmbChicharro'
Línea 9: 2
Línea 10: 00100
Línea 11: 304242454542505045383030
Línea 12: 111111111111
Línea 13: 0153670109140170227247
Línea 14: 00.10.51.54.5915.522.54255
Línea 15: 654022.6828.8737.1160.8292.78113.4147.42159.79136.0893.81
Línea 16: 3011
```

```
Línea 17: 'Chico_Chicharro'  
Línea 18: 120  
Línea 19: 000000000000  
Línea 20: 10000100001000010000100001000010000100001000010000100001000010000  
Línea 21: 110.01  
Línea 22: 'Chicharro_Grande'  
Línea 23: 232  
Línea 24: 000000000000  
Línea 25: 10000100001000010000100001000010000100001000010000100001000010000  
Línea 26: 110.01  
Línea 27: 'TramoFinal'  
Línea 28: 5110  
Línea 29: 000000000000  
Línea 30: 10000100001000010000100001000010000100001000010000100001000010000  
Línea 31: 110.01  
Línea 32: 'trrecargalluvia'  
Línea 33: 611  
Línea 34: 000000000000  
Línea 35: 10000100001000010000100001000010000100001000010000100001000010000  
Línea 36: 11011  
Línea 37: 110.01  
Línea 38: 'AzudGrande_VertVillaAbajo'  
Línea 39: 34  
Línea 40: 000000000000  
Línea 41: 10000100001000010000100001000010000100001000010000100001000010000  
Línea 42: 1200.8  
Línea 43: 110.01  
Línea 44: 'VertVillaAbajo_ICaVillaAbajo'  
Línea 45: 45  
Línea 46: 000000000000  
Línea 47: 10000100001000010000100001000010000100001000010000100001000010000  
Línea 48: 1200.2  
Línea 49: 110.01  
Línea 50: 'DemVillaAbajo'  
Línea 51: 0000000000  
Línea 52: 56.67  
Línea 53: 8.898.48.48.47.398.217.918.599.118.77.618.4  
Línea 54: 11  
Línea 55: 507090  
Línea 56: 115302310810  
Línea 57: 1  
Línea 58: 'TomaVillaAbajo'  
Línea 59: 2  
Línea 60: 720.150.2  
Línea 61: 1  
Línea 62: 1  
Línea 63: 666666666666  
Línea 64: 'DemAgrElNaranjero'  
Línea 65: 0011001043  
Línea 66: 84.21001  
Línea 67: 30000.654.325.9412.2716.625.5421.3210.36  
Línea 68: 11  
Línea 69: 507090  
Línea 70: 115305075100810  
Línea 71: 1  
Línea 72: 'TomaAgraria'  
Línea 73: 3  
Línea 74: 36001  
Línea 75: 3  
Línea 76: 0  
Línea 77: 30303030303030303030303030303030  
Línea 78: 'DemVillaAfuera'  
Línea 79: 0000000000  
Línea 80: 46  
Línea 81: 00021.7421.7421.7421.744.354.354.3500  
Línea 82: 11  
Línea 83: 507090  
Línea 84: 115305075100810  
Línea 85: 1  
Línea 86: 'Tomanº3'  
Línea 87: 1  
Línea 88: 12001  
Línea 89: 170
```

```

Línea 90: 0
Línea 91: 1010101010101010101010101010
Línea 92: 'VertVillaAbajo'
Línea 93: 4
Línea 94: 'ApoCabecera'
Línea 95: 1
Línea 96: 'ApoCabera'
Línea 97: 1
Línea 98: 'ApoEmbalse'
Línea 99: 2
Línea 100: 'ApoAfluentell'
Línea 101: 1
Línea 102: 'ApoCuencaMedia'
Línea 103: 3
Línea 104: 'ApoCuencaMedia'
Línea 105: 1
Línea 106: 'Recargalluvia'
Línea 107: 6
Línea 108: 'recargaacuifero25'
Línea 109: 1
Línea 110: 'Acuiferounicelular'
Línea 111: 2
Línea 112: 00
Línea 113: 0.020
Línea 114: [CodElemento]
Línea 115: [Embalse]
Línea 116: 2
Línea 117: [TR1]
Línea 118: 6721
Línea 119: [TR2]
Línea 120: 26
Línea 121: [TR3]
Línea 122: 2728
Línea 123: [Aportacion]
Línea 124: 10111225
Línea 125: [Demanda]
Línea 126: 131417
Línea 127: [TomasDem]
Línea 128: 3151618
Línea 129: [Recarga]
Línea 130:
Línea 131: [Retorno]
Línea 132: 19
Línea 133: [Bombeo]
Línea 134:
Línea 135: [Acuifero]
Línea 136: 22

```

- La línea 1 contiene el indicador de la versión 3.0, tal como se requiere para que el modelo interprete que los datos corresponden a esta versión.
- Las líneas 2 y 3 corresponden a títulos que aparecerán en las cabeceras de todos los años hidrológicos y en la del resumen. Nótese que los títulos van entre comillas.
- La línea nº 4 indica que vamos a optimizar períodos de 5 años, que el horizonte consta de 12 períodos (total  $5 \times 4 = 60$  años) y que el horizonte comienza en 1940 (por lo tanto el primer año hidrológico es 1940-1941 y el último el 1999-2000).
- La línea nº 5 indica que sí se quiere eco de datos (1), que se quiere un archivo de resultados pormenorizados además de un resumen (0), que no se quieren datos de la red de flujo (0). El último número (0) es necesario, pero no es utilizado, en el caso de que el anterior hubiera sido

un 2, este indicaría para qué período de optimización se quieren los datos detallados de la red interna.

- La línea nº 6 indica que el esquema del usuario consta de 11 nudos, 1 de ellos embalse, 3 conducciones tipo 1, 1 conducción tipo 2, 2 conducciones tipo 3, 4 aportaciones, 3 demandas, 0 recargas artificiales, 1 acuífero, 0 bombes adicionales y 1 retorno.
- La línea nº 7 indica que el parámetro  $K_\alpha$  (nivel de costo de caudal ecológico) es 20000, el parámetro  $K_\beta$  (nivel de costo de demanda) es 10000, y el parámetro  $K_{ot}$  de recargo por by-pass es 1.
- Las líneas 8 a 16 (9 líneas) corresponden al embalse:
  - o La línea 8 contiene el nombre del embalse. Nótese que este ha de ir entre comillas.
  - o La línea 9 indica que el número del nudo del esquema del usuario que corresponde al embalse es el 2.
  - o La línea 10 contiene los valores de acuífero al que van a parar las filtraciones del embalse, el tipo de acción elemental que suponen y los valores de los parámetros A, B y C de la ley de filtraciones
  - o La línea 11 contiene los 12 valores de volumen máximo mensual admisible.
  - o La línea 12 contiene los 12 valores del volumen mínimo físico
  - o La línea 13 contiene los 10 valores de superficie de lámina de agua.
  - o La línea 14 contiene los 10 valores de volumen correspondiente a las superficies de lámina de agua.
  - o La línea 15 contiene los 12 valores de evaporación media mensual.
  - o La línea 16 indica que el volumen inicial es de 15 Hm<sup>3</sup>, que se quiere los volúmenes mes a mes en el archivo EMBALSES.PRN (1), y que la prioridad del embalse para almacenamiento al final de cada período de optimización es de 2.
- Las líneas 17 a 21 (5 líneas) corresponden a la primera conducción tipo 1:
  - o La línea 17 contiene el nombre.
  - o La línea 18 indica que ésta va del nudo 1 al 2, y que no se declara como by-pass (0).
  - o La línea 19 contiene los 12 valores de caudal mínimo (ecológico) a circular por el tramo, que en este caso son nulos.
  - o La línea 20 contiene los 12 valores de caudal máximo a circular por el tramo, que en este caso corresponde al máximo por defecto en optiges.
  - o La línea 21 indica que la prioridad del caudal mínimo es 1 (en este caso no se usaría pues el caudal mínimo es 0) y que sí que se quieren los resultados del volumen mensual



circulado en el archivo CONDUCCI.PRN (1). El tercer dato (0) es necesario a pesar de no haber caudal mínimo, y en caso de que hubiera indicaría que se contabiliza como fallo cualquier déficit en el caudal mínimo. Si se pusiera un 10. significaría que solamente se contabilizaría como fallo aquel mes en que el caudal circulante fuera inferior al 90% del caudal mínimo (déficit mayor que el 10%).

- Las líneas 22 a 32 (11 líneas) corresponden a las nueve conducciones restantes. Nótese que todas ellas son conducciones normales, no by-pass (así, por ejemplo, el tercer dato de la línea 74 es un 0); que todas ellas corresponden a cauces naturales con capacidad ilimitada, que se plasma como de 10000 Hm<sup>3</sup>/mes (muy elevada), y que en algunos casos no se desea que los resultados se escriban en el archivo CONDUCCI.PRN
- Las líneas 32 a 37 (6 líneas) corresponden a la conducción tipo 2:
  - o La línea 32 contiene el nombre.
  - o La línea 33 indica que ésta va del nudo 6 al 11
  - o La línea 34 contiene los 12 valores de caudal mínimo (ecológico) a circular por el tramo, que en este caso son nulos.
  - o La línea 35 contiene los 12 valores de caudal máximo a circular por el tramo, que en este caso corresponde al máximo por defecto en optiges.
  - o La línea 36 contiene los valores de acuífero al que van a parar las filtraciones del embalse, el tipo de acción elemental que suponen y los valores de los parámetros A, B y C de la ley de filtraciones
  - o La línea 37 indica que la prioridad del caudal mínimo es 1 (en este caso no se usaría pues el caudal mínimo es 0) y que sí que se quieren los resultados del volumen mensual circulado en el archivo CONDUCCI.PRN (1). El tercer dato (0) es necesario a pesar de no haber caudal mínimo, y en caso de que hubiera indicaría que se contabiliza como fallo cualquier déficit en el caudal mínimo. Si se pusiera un 10. significaría que solamente se contabilizaría como fallo aquel mes en que el caudal circulante fuera inferior al 90% del caudal mínimo (déficit mayor que el 10%).
- Las líneas 38 a 43 (6 líneas) corresponden a la primera conducción tipo 3:
  - o La línea 38 contiene el nombre.
  - o La línea 39 indica que ésta va del nudo 3 al 4
  - o La línea 40 contiene los 12 valores de caudal mínimo (ecológico) a circular por el tramo, que en este caso son nulos.
  - o La línea 41 contiene los 12 valores de caudal máximo a circular por el tramo, que en este caso corresponde al máximo por defecto en optiges.
  - o La línea 42 contiene el número del acuífero al que se encuentra conectada la conducción, el parámetro de control asociado a dicha conexión, el número de acción elemental

asignado a las detracciones imposibles y el coeficiente de reparto de los caudales detraídos

o La línea 43 indica que la prioridad del caudal mínimo es 1 (en este caso no se usaría pues el caudal mínimo es 0) y que sí que se quieren los resultados del volumen mensual circulado en el archivo CONDUCCI.PRN (1). El tercer dato (0) es necesario a pesar de no haber caudal mínimo, y en caso de que hubiera indicaría que se contabiliza como fallo cualquier déficit en el caudal mínimo. Si se pusiera un 10. significaría que solamente se contabilizaría como fallo aquel mes en que el caudal circulante fuera inferior al 90% del caudal mínimo (déficit mayor que el 10%).

- Las líneas 44 a 49 (6 líneas corresponden a la segunda conexión tipo 3.
- Las líneas 50 a 63 se corresponden a la primera demanda consuntiva junto a su respectiva toma:

o Las líneas 50 a 57 (8 líneas) se corresponden con las características generales de la demanda:

- La línea 50 contiene el nombre.
- La línea 51 contiene los datos relativos a la conexión de la demanda con el acuífero, esto es: el número de acuífero al que van a parar los excedentes de riego que no retornan al sistema superficial; la acción elemental de esta recarga; el número de acuífero del cual se puede bombear volúmenes para complementar el suministro (no necesariamente el acuífero recargado); la acción elemental del bombeo; el parámetro de control que gobierna el funcionamiento de los bombeos; el umbral a partir del cual se detiene el bombeo; el nivel de demanda que suministra; y la prioridad de este bombeo respecto a otros bombeos
- La línea 52 indica que la demanda total anual es de 56.67 Hm<sup>3</sup>.
- La línea 53 indica que el 8.89% de la demanda anual anterior tiene lugar en el primer mes (Octubre) el 8.4% en el 2º mes, el 8.4% en el 3º mes, y así hasta 12 valores que han de sumar 100.
- La línea 54 indica que la prioridad de esta demanda es 1 (aunque no se tiene en cuenta en la versión 3.0). El cuarto valor indica que sí que se quieren los resultados de volumen mensual suministrado escritos en el archivo DEMANDAS.PRN.
- La línea 55 indica que se divide la demanda, a efectos de prioridades, en un primer nivel comprendido entre 0 y el 50%, un segundo entre el 50% y el 70%, un tercero entre el 70% y el 90%, y un cuarto entre el 90% y el 100%.
- La línea 56 da los coeficientes A, B, C, D, E, y F de los criterios de garantía descritos en el apartado 5.1.
- La línea 57 dice el número de tomas que tiene esta demanda.

- Las líneas 58 a 63 (6 líneas) se corresponden a las características de la toma de la demanda:
  - La línea 58 contiene el nombre de la toma
  - La línea 59 contiene el nudo del cual parte la toma hacia la demanda
  - La línea 60 contiene los valores de la dotación anual, el coeficiente de retorno y el coeficiente de consumo
  - La línea 61 contiene la prioridad de la toma
  - La línea 62 indica el elemento de retorno a través del cual vuelve el caudal no consumido al sistema
  - La línea 63 contiene 12 valores de pico mensual de la toma
- Las líneas 60 a 91 (28 líneas) corresponden a las dos demandas restantes
- Las líneas 92 y 93 corresponden al elemento de retorno:
  - La línea 92 contiene el nombre del elemento
  - La línea 93 contiene el nudo del esquema al cual llegan los caudales retornados a través de este elemento
- Las líneas 94 y 95 corresponden a la primera aportación:
  - La línea 94 contiene el nombre.
  - La línea 95 indica el nudo al que se incorpora
  - La línea 96 contiene el nombre del archivo en que se encuentran los datos de la aportación
  - La línea 97 contiene un factor por el cual pueden modificarse las aportaciones para incrementarlas o disminuirlas
- Las líneas 98 a 109 (12 líneas) se corresponden con el resto de aportaciones
- Las líneas 110 a 113 (4 líneas) se corresponden a los datos del acuífero:
  - La línea 110 contiene el nombre
  - La línea 111 contiene el tipo de acuífero (en este caso unicelular)
  - La línea 112 contiene el parámetro de control de los bombeos y el umbral a partir del cual éstos se detienen
  - La línea 113 contiene el coeficiente de descarga del acuífero y el volumen inicial

## 6.4. Archivos de datos de aportaciones.

Como se explicó en el apartado 4.2 será necesario proporcionar en este caso 4 archivos de datos de aportaciones. En el archivo de datos generales recién visto, se ha declarado que los archivos de datos de aportaciones van a ser:

- 'ApoCabera'
- 'ApoAfluyente11'
- 'ApoCuencaMedia'
- 'recargaacuifero25'

A continuación se reproduce el primero de ellos:

APORTACIONES OPTIGES												
ApoCabecera												
ANI	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP
1980/81	1.15	1.38	6.55	2.21	9.03	13.43	24.72	18.44	3.81	1.12	0.44	0.44
1981/82	0.80	0.77	10.98	20.62	8.95	16.21	13.53	7.12	17.42	2.36	0.63	0.60
1982/83	0.97	29.25	14.64	3.89	4.27	2.97	15.88	27.22	5.01	1.16	0.53	0.58
1983/84	0.61	1.76	16.03	18.13	13.62	18.83	35.88	43.67	29.88	5.09	1.26	1.00
1984/85	1.18	48.10	19.12	19.58	43.14	22.24	24.58	10.16	6.51	1.78	0.76	0.42
1985/86	0.66	1.16	3.77	11.11	18.54	22.04	18.31	9.79	1.59	0.27	0.01	0.11
1986/87	1.46	5.99	6.34	18.08	26.72	20.40	23.42	4.14	1.50	0.96	0.40	0.24
1987/88	4.00	16.68	34.26	35.33	25.47	11.38	37.95	31.99	23.40	15.53	2.95	1.17
1988/89	1.30	7.04	1.88	2.04	9.39	12.61	25.99	14.05	10.73	1.68	0.62	0.78
1989/90	0.76	18.21	62.63	30.22	34.58	6.98	17.50	4.21	1.72	0.78	0.51	0.75
1990/91	1.02	18.19	7.84	8.07	18.66	51.50	36.35	11.78	2.89	1.35	0.60	0.75
1991/92	4.21	8.62	6.31	3.93	2.29	1.14	12.04	1.31	4.30	0.97	0.09	0.04
1992/93	11.01	4.63	13.43	2.16	2.99	7.59	9.69	20.28	22.36	2.95	0.56	0.62
1993/94	19.36	25.95	5.68	26.13	21.70	24.51	4.62	15.93	8.04	1.46	0.45	0.66
1994/95	0.93	14.52	5.60	10.96	16.63	9.49	1.49	2.10	3.77	0.74	0.06	0.35
1995/96	0.32	14.24	31.20	67.58	50.64	43.09	28.78	24.33	8.37	1.95	1.04	1.05
1996/97	1.19	1.32	46.15	72.25	58.81	11.36	5.66	14.22	16.70	3.09	1.29	0.99
1997/98	1.09	39.23	40.86	26.40	35.05	6.94	16.39	26.38	17.74	3.30	1.02	0.88
1998/99	1.41	1.39	8.42	16.20	6.84	19.52	16.72	18.22	3.26	0.81	0.40	0.56
1999/00	13.07	17.06	9.60	12.10	8.98	3.88	40.73	22.29	3.95	1.17	0.52	0.00

Como puede verse todos ellos constan de 11 líneas para la cabecera y 2 líneas que contienen la etiqueta del año hidrológico y doce valores cada una. La 12ª línea contiene los valores de aportaciones correspondientes al primer año (año hidrológico 1980-81) y así consecutivamente.

## 6.5. Salida de resultados.

La salida escrita que se obtiene al ejecutar OPTIGES con este archivo de datos puede verse en las páginas siguientes. En las tres siguientes páginas se tiene un eco de los datos introducidos (este será el contenido del archivo ECODATOS.OPT como se comentó en el apartado 5). Como puede verse, el eco de datos es un reflejo del archivo de datos, pero más explicado.

Posteriormente, se tienen los resultados mensuales organizados según años hidrológicos (este será el contenido del archivo RESULT.OPT del cual sólo se muestran los resultados del primer año de la optimización). Finalmente, se presenta el resumen de dichos resultados (este será el contenido del archivo RESUMEN.OPT).

### 6.5.1. Archivo de eco de datos (ECODAT.OPT)

```

*****
* Parte de simulacion de la cuenca
*****
Fecha y hora:28/02/14 18:49:11
NO. DE AÑOS: 60 AÑO INICIAL: 1940 INTERVALOS OPTIMIZACIÓN: 12
MAXIMO ITERACIONES: 10 FACTOR CONVERGENCIA: 4

CIERRE PROGRAMA AL TERMINAR: NO
OPTIMIZADOR QUE SE EMPLEA: OUT-OF-KILTER
NÚMERO DE DECIMALES MOSTRADOS: 2

HIPOTESIS: Rio Mayu
=====

N.NUDOS SISTEMA FISICO: 11
N. DE EMBALSES: 1
N.TRAMOS RIO TIPO 1: 3
N.TRAMOS RIO TIPO 2: 1
N.TRAMOS RIO TIPO 3: 2
N.APORTACIONES INTERMEDIAS: 4
N.DEMANDAS CONSUNTIVAS: 3
N.RECARGAS ARTIFICIALES: 0
N.ACUIFEROS: 1
N.BOMBEO ADICIONALES: 0
N.RETORNOS: 1
-----
*****
EMBALSES
*****

* 1 - EmbChicharro
NUDO 2
NUMERO PRIORIDAD 1
COEF. FORMULA INFILTRACION: A= 0.0000E+00 B= 0.0000E+00 C= 0.1000E+01
VOLUMEN INICIAL: 30.00
COL. RES.: 1

AGOSTOSEPTIEMBRE OCTUBRE NOVIEMBRE DICIEMBRE ENERO FEBRERO MARZO ABRIL MAYO JUNIO
VOL.MAXIMO 30.000 42.000 42.000 45.000 45.000 42.000 50.000 50.000 45.000 38.000
VOL.MINIMO 1.000 1.000 1.000 1.000 1.000 1.000 1.000 1.000 1.000 1.000
EVAP.(mm) 65.000 40.000 22.680 28.870 37.110 60.820 92.780 113.400 147.420 159.790
93.810

TABLA COTA-SUPERFICIE-VOLUMEN
SUPERF(Ha) 0.000 1.000 5.000 36.000 70.000 109.000 140.000 170.000 227.000 247.000
VOLUM(Hm3) 0.000 0.100 0.500 1.500 4.500 9.000 15.500 22.500 42.000 55.000
-----
*****
CONDUCCIONES
*****

TIPO: 1
=====

* 1 - Chico_Chicharro
NUDO INIC. 1 NUDO FINAL 2 I. COSTE: 0 PRIORIDAD: 1
AGOSTOSEPTIEMBRE OCTUBRE NOVIEMBRE DICIEMBRE ENERO FEBRERO MARZO ABRIL MAYO JUNIO
CAUD.MIN. 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000
CAUD.MAX. 10000.000 10000.000 10000.000 10000.000 10000.000 10000.000 10000.000 10000.000 10000.000 10000.000

* 2 - Chicharro_Grande
NUDO INIC. 2 NUDO FINAL 3 I. COSTE: 0 PRIORIDAD: 1
AGOSTOSEPTIEMBRE OCTUBRE NOVIEMBRE DICIEMBRE ENERO FEBRERO MARZO ABRIL MAYO JUNIO
CAUD.MIN. 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000
CAUD.MAX. 10000.000 10000.000 10000.000 10000.000 10000.000 10000.000 10000.000 10000.000 10000.000 10000.000

* 3 - TramoFinal
NUDO INIC. 5 NUDO FINAL 11 I. COSTE: 0 PRIORIDAD: 1
AGOSTOSEPTIEMBRE OCTUBRE NOVIEMBRE DICIEMBRE ENERO FEBRERO MARZO ABRIL MAYO JUNIO
CAUD.MIN. 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000
CAUD.MAX. 10000.000 10000.000 10000.000 10000.000 10000.000 10000.000 10000.000 10000.000 10000.000 10000.000
-----
TIPO: 2
=====

* 4 - tr recarga lluvia
NUDO INIC. 6 NUDO FINAL 11
OCTUBRE NOVIEMBRE DICIEMBRE ENERO FEBRERO MARZO ABRIL MAYO JUNIO

```

```

AGOSTOSEPTIEMBRE
CAUD.MIN.      0.000      0.0000.0000.0000.0000.0000.0000.0000.0000.0000.0000.000
CAUD.MAX.     10000.000 10000.00010000.00010000.00010000.00010000.00010000.00010000.00010000.00010000.
COEF. FORMULA INFILTRACION: A= 0.0000E+00 B= 0.1000E+01 C= 0.1000E+01
ACUIFERO      1          N. ACCION ELEM.      1
-----
TIPO:         3
=====

* 5 - AzudGrande_VertVillaAbajo
NUDO INIC.   3          NUDO FINAL     4
AGOSTOSEPTIEMBRE
OCTUBRE     NOVIEMBRE     DICIEMBRE     ENERO     FEBRERO     MARZO     ABRIL     MAYO     JUNIO
AGOSTOSEPTIEMBRE
CAUD.MIN.      0.000      0.0000.0000.0000.0000.0000.0000.0000.0000.0000.000
CAUD.MAX.     10000.000 10000.00010000.00010000.00010000.00010000.00010000.00010000.00010000.
ACUIFERO      1          N. ACCION ELEM.      0          N.PARAMETRO CONTROL: 2 VALOR CONEXIÓN 80%

* 6 - VertVillaAbajo_ICaVillaAbajo
NUDO INIC.   4          NUDO FINAL     5
AGOSTOSEPTIEMBRE
OCTUBRE     NOVIEMBRE     DICIEMBRE     ENERO     FEBRERO     MARZO     ABRIL     MAYO     JUNIO
AGOSTOSEPTIEMBRE
CAUD.MIN.      0.000      0.0000.0000.0000.0000.0000.0000.0000.0000.0000.000
CAUD.MAX.     10000.000 10000.00010000.00010000.00010000.00010000.00010000.00010000.00010000.
ACUIFERO      1          N. ACCION ELEM.      0          N.PARAMETRO CONTROL: 2 VALOR CONEXIÓN 20%
-----
*****
DEMANDAS CONSUNTIVAS
*****

* 1 - DemVillaAbajo
OCTUBRE     NOVIEMBRE     DICIEMBRE     ENERO     FEBRERO     MARZO     ABRIL     MAYO     JUNIO
AGOSTOSEPTIEMBRE
VOL DEM :      5.038      4.760      4.7604.760      4.188      4.653      4.483      4.868      5.163      4.930      4.313
LA DEMANDA SERA ESCALONADA EN 4 NIVELES, CON VALORES 50.0% 70.0% 90.0% 100.0%
COEF. GARANTIAS:
GAR.MENS.:      1.0%
CRITERIO TIPO P.H.: M.: 15.0% A.: 30.0%
CRIT.TIPO UTAH DWR: 1A: 2.0% 2A: 3.0% 10A: 10.0%
CRIT. IPH2008 DEMANDA URBANA: 1m: 8.%; 10a: 10.%

N. TOMAS      1
TOMA: 1-TomaVillaAbajo
NUDO 2 DOT.ANUAL 72.000 C.ESCORR. 0.15 C.CONSUMO 0.20 ELEM.RET. 1 N.PRI 1
OCTUBRE     NOVIEMBRE     DICIEMBRE     ENERO     FEBRERO     MARZO     ABRIL     MAYO     JUNIO
AGOSTOSEPTIEMBRE
CAUD.MAX.      6.000      6.0006.0006.0006.0006.0006.0006.0006.0006.0006.000

* 2 - DemAgrElNaranjero
OCTUBRE     NOVIEMBRE     DICIEMBRE     ENERO     FEBRERO     MARZO     ABRIL     MAYO     JUNIO
AGOSTOSEPTIEMBRE
VOL DEM :      2.526      0.000      0.0000.000      0.547      3.638      5.002      10.333      13.979      21.507      17.954
LA DEMANDA SERA ESCALONADA EN 4 NIVELES, CON VALORES 50.0% 70.0% 90.0% 100.0%
ACUIFERO BOMBEO 1          N. ACCION ELEM.      1          Q MAX BOMBEO 10.000
PARAM.CONT 0 UMBRAL :      0.000
NIVEL DEMANDA BOMBEO 4          PRIORIDAD BOMBEO 3
COEF. GARANTIAS:
GAR.MENS.:      1.0%
CRITERIO TIPO P.H.: M.: 15.0% A.: 30.0%
CRIT.TIPO UTAH DWR: 1A: 50.0% 2A: 75.0% 10A: 100.0%
CRIT. IPH2008 DEMANDA URBANA: 1m: 8.%; 10a: 10.%

N. TOMAS      1
TOMA: 1-TomaAgraria
NUDO 3 DOT.ANUAL 360.000 C.ESCORR. 0.00 C.CONSUMO 1.00 ELEM.RET. 0 N.PRI 3
OCTUBRE     NOVIEMBRE     DICIEMBRE     ENERO     FEBRERO     MARZO     ABRIL     MAYO     JUNIO
AGOSTOSEPTIEMBRE
CAUD.MAX.      30.000      30.00030.00030.00030.00030.00030.00030.00030.00030.000

* 3 - DemVillaAfuera
OCTUBRE     NOVIEMBRE     DICIEMBRE     ENERO     FEBRERO     MARZO     ABRIL     MAYO     JUNIO
AGOSTOSEPTIEMBRE
VOL DEM :      0.000      0.0000.000      10.000      10.00010.00010.000      2.001      2.0012.001      0.000      0.000
LA DEMANDA SERA ESCALONADA EN 4 NIVELES, CON VALORES 50.0% 70.0% 90.0% 100.0%
COEF. GARANTIAS:
GAR.MENS.:      1.0%
CRITERIO TIPO P.H.: M.: 15.0% A.: 30.0%
CRIT.TIPO UTAH DWR: 1A: 50.0% 2A: 75.0% 10A: 100.0%
CRIT. IPH2008 DEMANDA URBANA: 1m: 8.%; 10a: 10.%

N. TOMAS      1
TOMA: 1-Toma n° 3
NUDO 1 DOT.ANUAL 120.000 C.ESCORR. 0.00 C.CONSUMO 1.00 ELEM.RET. 0 N.PRI 170
OCTUBRE     NOVIEMBRE     DICIEMBRE     ENERO     FEBRERO     MARZO     ABRIL     MAYO     JUNIO
AGOSTOSEPTIEMBRE
CAUD.MAX.      10.000      10.00010.00010.00010.00010.00010.00010.00010.00010.000
-----
*****
RETORNOS
*****
NO. NOMBRE          NUDO
    
```

1 VertVillaAbajo		4			
*****					
APORT. INTERMEDIAS					
*****					
NO.-	NOMBRE	NUDO	ENTRADA	ARCHIVO	MULTIPLICADOR
1	ApoCabecera	1	1	ApoCabera	1.0
2	ApoEmbalse	2	2	ApoAfluentel1	1.0
3	ApoCuencaMedia	3	3	ApoCuencaMedia	1.0
4	Recarga lluvia	6	6	recargaacuifero	1.0
*****					
ACUIFEROS					
*****					
* 1-Acuifero unicelular                    TIPO:            2: MODELO UNICELULAR					
PARAM.CONTROL BOMBEO 0            UMBRAL : 0.0000E+00					
COEFTE.DE DESAGUE 0.2000E-01    VOLUMEN INICIAL:            0.00					



### 6.5.2. Archivo de resultados (RESANUAL.OPT)

*****Parte de simulacion de la cuenca													
Río Mayu													
Fecha y hora: 28/02/2014 18:49h													
AÑO 1980-1981													
*****													
APORTACIONES (HM3/MES)													
	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	
ApoCabecera	1.15	1.38	6.55	2.21	9.03	13.43	24.72	18.44	3.81	1.12	0.44	0.44	
ApoEmbalse	0.28	0.28	0.26	0.23	0.21	0.19	0.32	0.27	0.13	0.08	0.02	0.04	
ApoCuencaMedia	7.80	7.88	6.73	6.50	12.03	9.84	44.56	26.83	6.53	4.48	4.28	5.08	
Recarga lluvia	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.00	0.00	10.00			
*****													
EMBALSES (VOLUMENES EN HM3)													
	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	
EmbChicharro													
VOL.FINAL	26.27	23.10	25.11	20.53	18.52	22.04	37.41	50.00	40.98	22.36	14.62	9.15	25.84
EVAPORACION	0.12	0.07	0.04	0.05	0.06	0.10	0.18	0.26	0.34	0.31	0.21	0.12	0.12
FILTRACION	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
*****													
CONDUCCIONES TIPO 1 (VOLUMENES CIRCULADOS EN HM3/MES)													
	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	TOTAL
Chico_Chicharro	1.15	1.38	6.55	0.00	2.03	8.09	19.72	17.44	3.81	1.12	0.44	0.44	
Chicharro_Grande	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	7.46	14.57	3.68	1.07	26.78		
TramoFinal	6.04	8.62	7.49	7.27	12.21	7.00	40.35	17.36	0.93	0.89	0.69	0.70	
*****													
CONDUCCIONES TIPO 2 (VOLUMENES CIRCULADOS EN HM3/MES)													
	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	
tr recarga lluvia													
CAUDAL	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
PERDIDAS	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.00	0.00	10.00			
*****													
CONDUCCIONES TIPO 3 (VOLUMENES CIRCULADOS EN HM3/MES)													
	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	
AzudGrande_VertVillaAbajo													
CAUDAL	5.28	7.90	6.77	6.55	11.56	6.28	39.66	16.60	0.13	0.12	0.03	0.00	
PERDIDAS	-0.01	-0.02	-0.04	-0.05	-0.07	-0.08	-0.10	-0.11	-0.13	-0.12	-0.03	0.04	
VertVillaAbajo_ICaVillaAbajo													
CAUDAL	6.04	8.62	7.49	7.27	12.21	7.00	40.35	17.36	0.93	0.89	0.69	0.70	
PERDIDAS	0.00	-0.01	-0.01	-0.01	-0.02	-0.02	-0.02	-0.03	-0.03	-0.03	-0.01	0.01	
*****													
DEMANDAS (SUMINISTROS Y DEFICITS EN HM3/MES)													
	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	
DemVillaAbajo													
DEMANDA	5.04	4.76	4.76	4.76	4.19	4.66	4.49	4.86	5.16	4.94	4.31	4.76	
SUM.SUPERF	5.04	4.76	4.76	4.76	4.19	4.66	4.49	4.86	5.16	4.94	4.31	4.76	
SUM.SUBTER	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
FILT. ACUI	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
DEFICIT	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
DemAgrElNaranjero													
DEMANDA	2.53	0.00	0.00	0.00	0.54	3.64	5.00	10.34	13.99	21.50	19.96	8.71	
SUM.SUPERF	2.53	0.00	0.00	0.00	0.54	3.64	5.00	10.34	13.99	19.05	7.96	6.10	
SUM.SUBTER	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.45	10.00	2.61	
FILT. ACUI	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
DEFICIT	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
DemVillaAfuera													
DEMANDA	0.00	0.00	0.00	2.21	7.00	5.34	5.00	1.00	0.00	0.00	0.00	20.55	
SUM.SUPERF	0.00	0.00	0.00	2.21	7.00	5.34	5.00	1.00	0.00	0.00	0.00	20.55	
SUM.SUBTER	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
FILT. ACUI	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
DEFICIT	0.00	0.00	0.00	7.79	3.00	4.66	5.00	1.00	2.00	2.00	0.00	0.00	
*****													
RETORNOS (VOLUMENES CIRCULADOS EN HM3/MES)													
	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	TOTAL
VertVillaAbajo	0.76	0.71	0.71	0.71	0.63	0.70	0.67	0.73	0.77	0.74	0.65	0.71	
*****													
ACUIFEROS (VOLUMENES EN HM3/MES)													
	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	
Acuífero unicelular													
REC.NETA	1.00	1.00	1.00	1.00	0.00	0.00	0.83						
V.BOMBEO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.45	10.00	2.61	1.25			
VOLUMEN	0.99	1.96	2.91	3.85	4.76	5.66	6.54	7.40	8.24	6.64	-3.40	-5.97	
CAUDAL	-0.01	-0.03	-0.05	-0.06	-0.09	-0.10	-0.12	-0.14	-0.16	-0.15	-0.04	0.05	
*****													



```

GAR.ANUAL: 100.0% ( 0 FALLOS) FALLOS CRIT.TIPO UTAH DWR: 0 POR 1 AYO, 0 POR 2 AYOS, 0 POR 10 AYOS
FALLOS CRIT. IPH2008 URBANAS: 0 POR 1 MES, 0 POR 10 AÑOS
MESES CON DEFICIT: 0 POR MAGNITUDES (1=MAX 4=MIN): 0 DE MAG.1, 0 DE MAG.2, 0 DE MAG.3, 0 DE MAG.4
3-DemVillaAfuera
OCT NOV DIC ENE FEB MAR ABR MAY JUN JUL AGO SEP
DEMANDA 0.00 0.000.00 10.00 10.0010.0010.00 2.00 2.002.00 0.00 0.00 46.00
SUM.SUPERF 0.00 0.000.00 6.52 7.11 6.21 5.54 0.97 0.65 0.45 0.00 0.00 27
SUM.SUBTER 0.00 0.000.000.000.000.000.000.000.000.000.000.000.000.00
DEFICIT 0.00 0.000.00 3.48 2.89 3.79 4.46 1.03 1.35 1.55 0.00 0.00 18
FILT. ACUI 0.00 0.000.000.000.000.000.000.000.000.000.000.000.00
SUMINIST.SUPERFICIAL POR TOMAS
Toma n° 3 0.00 0.000.00 2.25 2.20 1.76 1.78 0.40 0.30 0.16 0.00 0.00 8
GAR.MENS.: 62.1% ( 91 FALLOS) GAR.VOLUM.: 59.7% MAX.DEFIC.MENS.: 10.0 MAX.DEF.2 MES.CONS: 20.0
GAR.ANUAL: 15.0% ( 17 FALLOS) FALLOS CRIT.TIPO UTAH DWR: 8 POR 1 AYO, 12 POR 2 AYOS, 11 POR 10 AYOS***
FALLOS CRIT. IPH2008 URBANAS: 91 POR 1 MES, 11 POR 10 AÑOS
MESES CON DEFICIT: 91 POR MAGNITUDES (1=MAX 4=MIN): 61 DE MAG.1, 20 DE MAG.2, 10 DE MAG.3, 0 DE MAG.4
-----
*****
RETORNOS
*****
OCT NOV DIC ENE FEB MAR ABR MAY JUN JUL AGO SEP
VertVillaAbajo 0.67 0.69 0.71 0.71 0.63 0.70 0.67 0.73 0.77 0.74 0.65 0.71 8.37
-----
*****
ACUIFEROS
*****
1-Acuifero unicelular
OCT NOV DIC ENE FEB MAR ABR MAY JUN JUL AGO SEP
REC.NETA 1.00 1.001.001.001.001.001.001.00 0.00 0.00 10.00 4.56 2.67 10.29
V.BOMBEO 0.01 0.00 0.000.000.00 0.02 0.00 0.57 0.47 1.99 0.56 -4.04 -6.68
VOLUMEN -5.46 -4.36 -3.29 -2.24 -1.21 -0.22 0.76 1.16 1.63 0.06 0.07 0.02 -0.03
CAUDAL -0.11 -0.09 -0.07 -0.05 -0.03 -0.01 0.01 0.03 0.06 0.07 0.02 -0.03
    
```

### 6.6. Resultados gráficos

Además de los archivos de texto conteniendo los resultados, OPTIGES también genera dos archivos que se utilizan para el módulo de gráficos eGraf en la interfaz de AQUATOOL (OPTIGES.info y tablaOPT.txt) como se ha explicado en el apartado 5.2. a continuación se muestran algunos ejemplos.

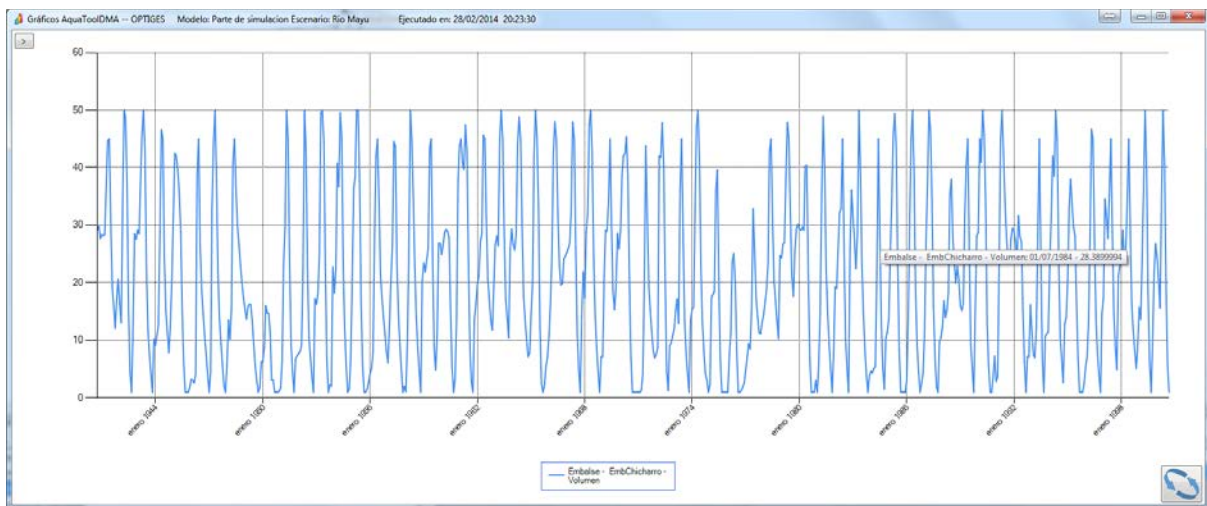


Figura 4. Evolución del volumen de embalse a lo largo del horizonte de optimización

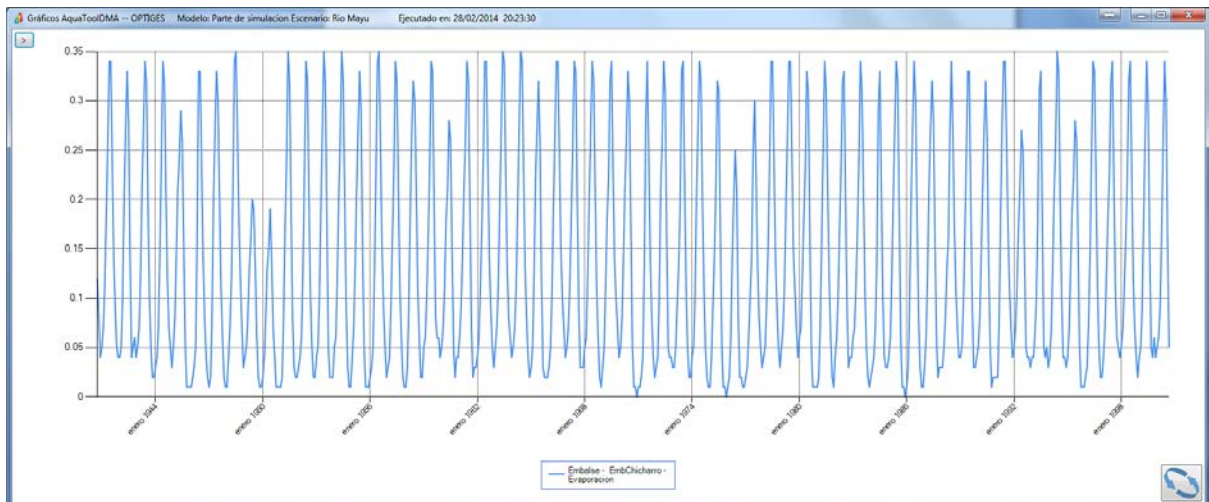


Figura 5. Evolución de la evaporación de embalse a lo largo del horizonte de optimización

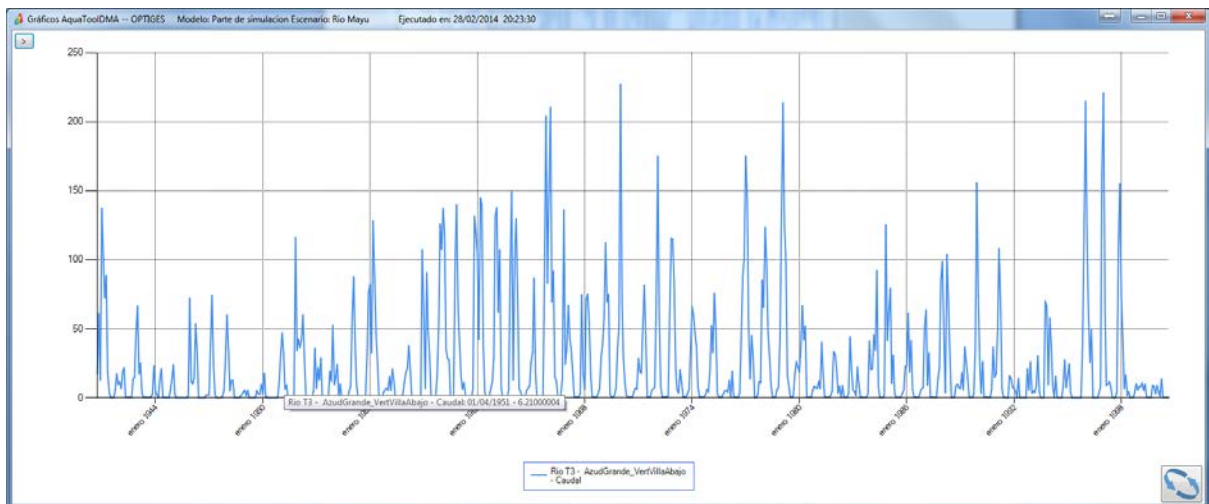
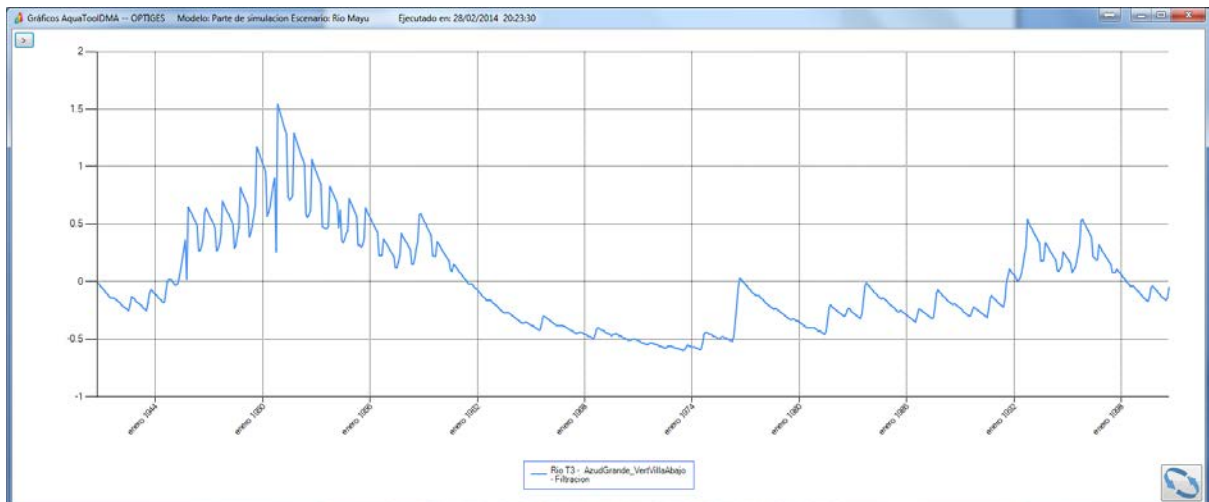


Figura 6. Evolución del caudal al final del tramo entre el Azud Grande y el punto de Vertido de Villa Abajo (TR3)



**Figura 7. Evolución de los caudales de conexión con el acuífero en el tramo entre el Azud Grande y el punto de Vertido de Villa Abajo (TR3). Los valores positivos representan filtraciones hacia el acuífero y los negativos entradas al tramo**



**Figura 8. Suministros superficial (azul) y subterráneo (amarillo) a la demanda agrícola "El Naranjero"**

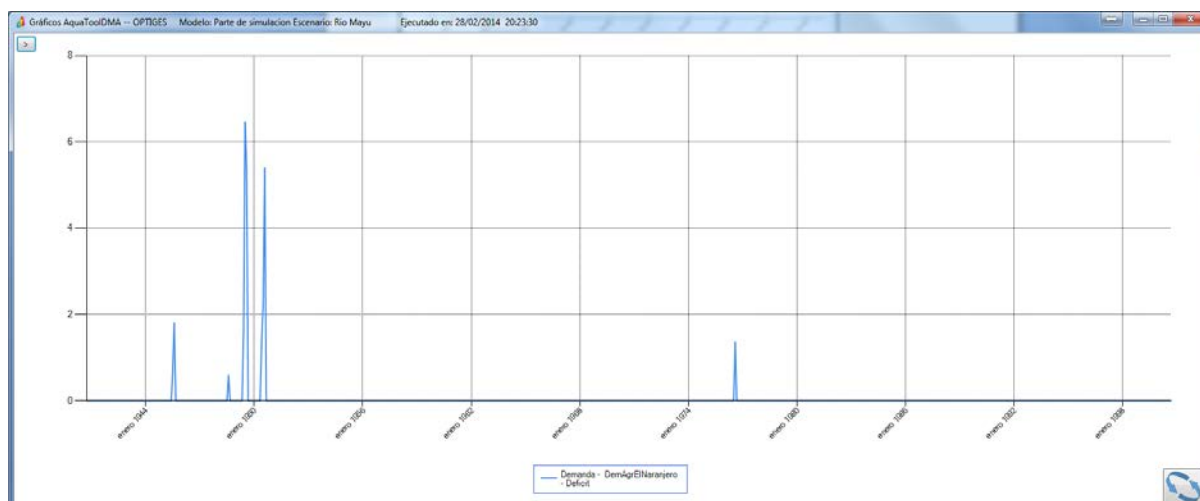


Figura 9. Déficits de la demanda agrícola "El Naranjero"

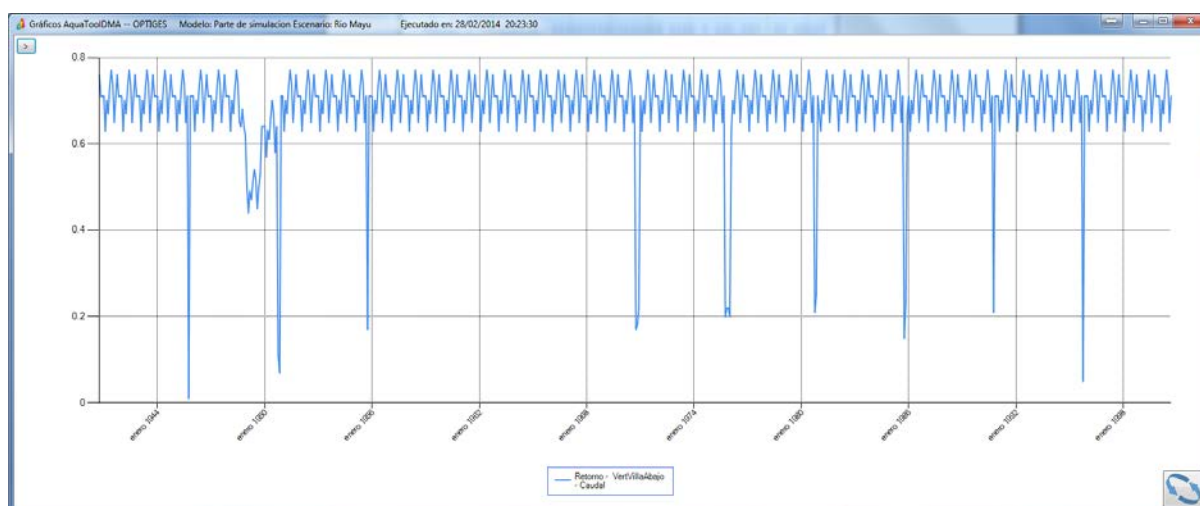


Figura 10. Evolución de los retornos al río desde la demanda de Villa Abajo

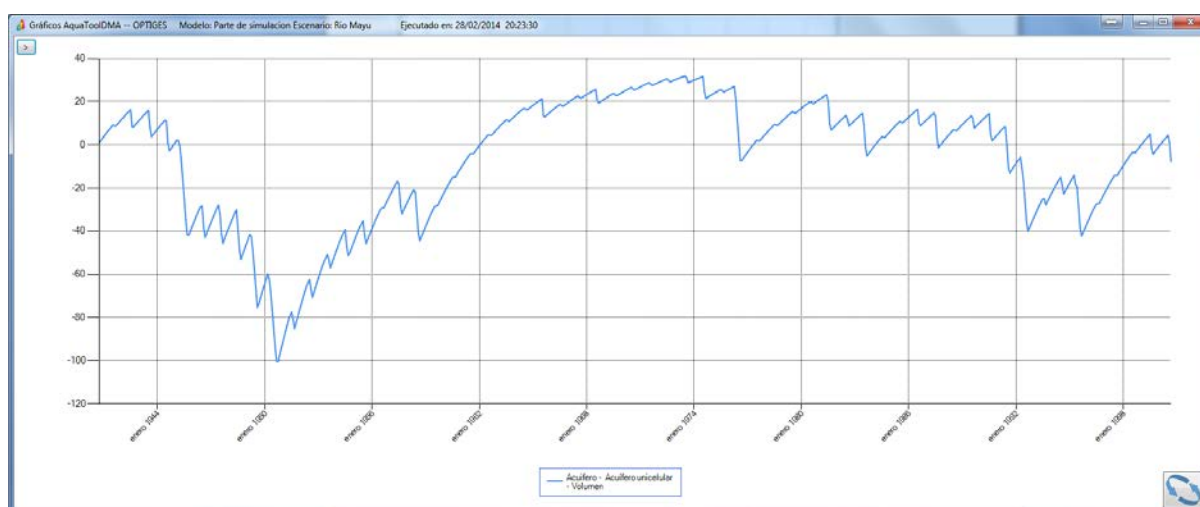


Figura 11. Evolución del volumen del acuífero a lo largo del horizonte de optimización

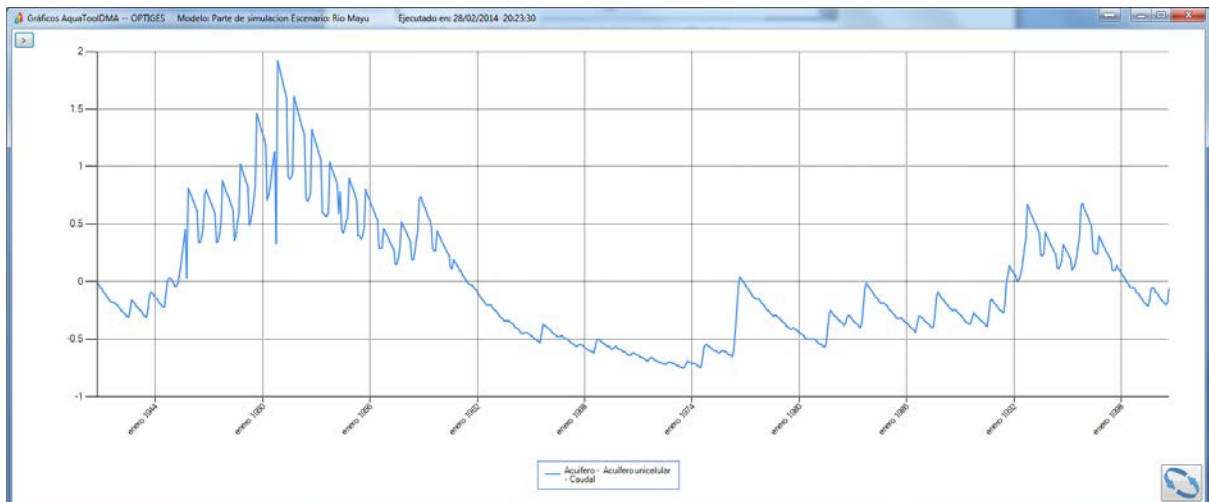


Figura 12. Evolución de los caudales de la conexión río-acuífero durante el horizonte de optimización

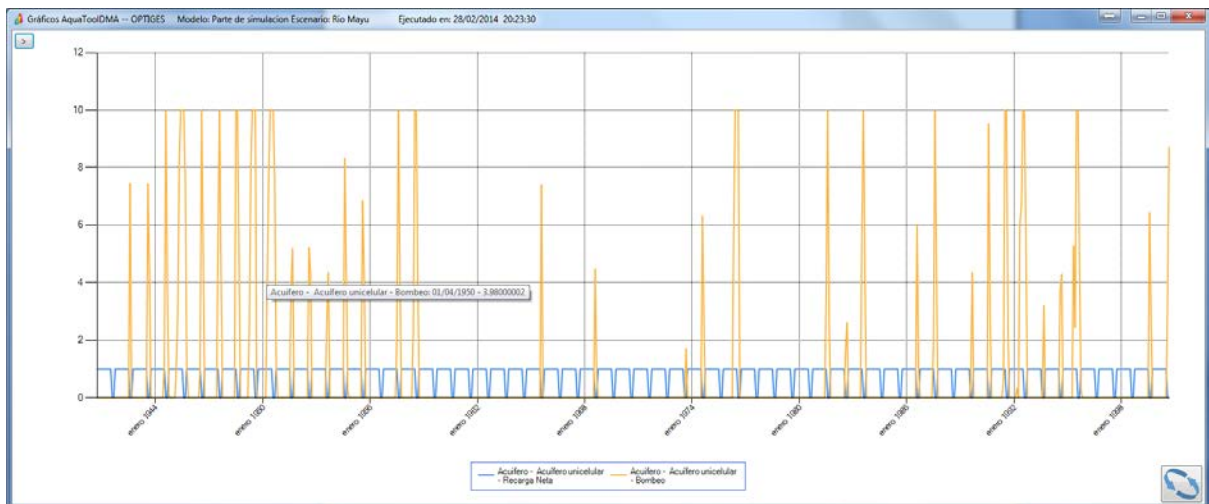


Figura 13. Recarga neta (azul) y bombeos (amarillo) del acuífero durante el horizonte de optimización





## 7. MENSAJES DE ERROR.

Durante la ejecución del modelo se presenta una pantalla de control de la misma, en la que aparecen la descripción de la tarea que efectúa el modelo en ese momento, que puede ser:

- LECTURA DE DATOS
- ECO DE DATOS
- GENERACIÓN DE LA RED INTERNA
- OPTIMIZANDO

En el último caso se presentan los títulos de la alternativa en curso, el número de períodos de optimización, el tamaño de los mismos, y el período que se está optimizando en ese momento, así como la iteración en curso.

En cualquiera de los procesos cuando se llega a una situación errónea, el modelo emite un mensaje en la pantalla de:

TERMINACION

EN ERROR

En ese caso, los archivos ECODATOS.OPT, o RESULT.OPT, dependiendo del proceso en que se estuviera contienen el mensaje explicativo del error. Los posibles mensajes se listan a continuación, y la mayor parte de ellos no necesitan explicación adicional:

- "HAY MAS NUDOS DE LOS PREVISTOS EN EL MODELO"

El número declarado como nudo final supera el número de nudos permitidos en el programa ejecutable utilizado.

- "HAY MAS EMBALSES DE LOS PREVISTOS EN EL MODELO"

- "HAY MAS APORTACIONES DE LAS PREVISTAS EN EL MODELO"

- "HA DE HABER AL MENOS UNA APORTACIÓN"

- "HAY MAS CONDUCCIONES DE LAS PREVISTAS EN EL MODELO"

- "HA DE HABER AL MENOS UNA CONDUCCIÓN"

- "HAY MAS DEMANDAS DE LAS PREVISTAS EN EL MODELO"

- "HAY MAS RETORNOS DE LOS PREVISTOS EN EL MODELO"

- "HAY MAS ACUIFEROS DE LOS PREVISTOS EN EL MODELO"

- "HAY MAS RECARGAS ART. DE LAS PREVISTAS EN EL MODELO"

-“HAY MAS BOMBEOS AD. DE LOS PREVISTOS EN EL MODELO”

-“NUDO DE CONTROL ANUAL  $\geq$  N.FINAL”

-“N. CONTROL ANUAL, CAUDAL NEGATIVO”

-“EMBALSE n : NUDO  $\leq 0$  o  $\geq$  NUDO FINAL”

-“EMBALSE n : VMAX CON VALOR NEGATIVO”

-“EMBALSE n , MES m : DATOS SUP-VOL. ERRÓNEOS”

-“EMBALSE n , MES m : EVAPOR. ERRÓNEA”

-“EMBALSE n : V.INICIAL ERRÓNEO”

-“EMBALSE n , VOL. MIN. MES m MAYOR QUE V.MAX”

-“APORTACIÓN n : NUDO NO DEFINIDO EN RED”

-“APORTACIÓN n : NUDO  $\leq 0$  o  $\geq$  NUDO FINAL”

-“APORTACIÓN n : COEF.MULT. NEGATIVO”

-“CONDUCCIÓN n : NUDOS  $\leq 0$  o  $>$  NUDO FINAL”

-“CONDUCCIÓN n INDICADOR TIPO ERRÓNEO: i”

-“CONDUCCIÓN n : CAUD.MIN O MAX. NEGATIVO”

-“CONDUCCIÓN n : CAUD.MIN  $>$  CAUD. MAX.”

-“CONDUCCIÓN n : ESCALONES CAUD.MIN ERRÓNEOS”

-“DEMANDA n : NUDO  $\leq 0$  o  $\geq$  NUDO FINAL”

-“DEMANDA n : NUDO NO DEFINIDO EN RED”

-“DEMANDA n : NEGATIVA”

-“DEMANDA n : COEF. MES",J,"NEGATIVO”

-“DEMANDA n : SUMA COEF. MES NO DA 100.”

-“DEMANDA n : ESCALONES ERRÓNEOS”

O bien algún nivel superior tiene coeficiente menor que uno inferior, o bien alguno es negativo o mayor que 100.

-“DEMANDA n : NUM.EL.DE RETORNO ERRÓNEO”

-“DEMANDA n : COEF.DE RETORNO  $>1$  O  $<0$ ”

- "DEMANDA n : COEF. A DE GARANTÍA ERRÓNEO"
- "DEMANDA n : COEF. B DE GARANTÍA ERRÓNEO"
- "DEMANDA n : COEF. C DE GARANTÍA ERRÓNEO"
- "DEMANDA n : COEF. D DE GARANTÍA ERRÓNEO"
- "DEMANDA n : COEF. E DE GARANTÍA ERRÓNEO"
- "DEMANDA n : COEF. F DE GARANTÍA ERRÓNEO"
- "DEMANDA i TOMA j : NUDO  $\leq 0$  O  $\geq$  NUDO FINAL"
- "DEMANDA i TOMA j : NUDO NO DEFINIDO EN RED"
- "DEMANDA i TOMA j : NUDO DE TOMA ES DE CONTROL ANUAL"
- "DEMANDA i TOMA j : NUMERO DE ELEMENTO DE RETORNO ERRONEO"
- "DEMANDA i TOMA j : COEFICIENTE DE RETORNO  $>1$  O  $<0$ "
- "DEMANDA i TOMA j : COEFICIENTE DE CONSUMO  $>1$  O  $<0$ "
- "DEMANDA i TOMA j : COEFICIENTES SUMAN  $>1$ "
- "RETORNO n : NUDO  $\leq 0$  O  $\geq$  NUDO FINAL"
- "RETORNO n : NUDO NO DEFINIDO EN RED"
- "EL NUMERODE NUDO n NO HA SIDO UTILIZADO"

Este mensaje no se corresponde con un error fatal, solamente es una advertencia al usuario para indicar que en la numeración de nudos adoptada se ha saltado algún número. El modelo admite esta posibilidad, pero la advierte.

- "HAY MAS ARCOS INTERNOS DE LOS PREVISTOS EN EL MODELO"

Puede obtenerse este mensaje, a pesar de cumplir los requisitos en cuanto a limitaciones de elementos, si se utilizan muchas conducciones con caudal mínimo dividido en más de dos escalones. En ese caso es necesario reducir el número de estos o bien obtener un ejecutable previsto para más elementos.

- "HAY MAS NODOS INTERNOS DE LOS PREVISTOS EN EL MODELO"

Ver comentario anterior.

- "REVISAR LIMITES INFERIORES Y SUPERIORES"

Este mensaje no debiera de aparecer en una ejecución normal del modelo. Si aparece hay que revisar los datos de caudales máximos y mínimos de conducciones, y ver que son coherentes, y si el error persiste, ponerse en contacto con los autores.

- "NO HAY SOLUCIÓN FACTIBLE"

Este mensaje puede aparecer en una ejecución normal del modelo si no se ha tomado la precaución apuntada en el apartado 2.2 (Conducciones) de establecer en el esquema un "cauce natural" de salida del agua en caso de aportaciones elevadas desde el nudo de incorporación de estas hasta el final del sistema. Si se ha tomado esta precaución no debiera de obtenerse este mensaje. Si se obtuviera, hay que revisar los datos de aportaciones y asegurarse de que no incluyen valores negativos. Si el error persiste hay que ponerse en contacto con los autores del modelo.

- "EN LA RED INTERNA SE HA ENCONTRADO UN TOTAL DE n ARCOS CON EL MISMO ORIGEN Y FINAL")

Comprobar que no se han definido dos conducciones con los mismos nudo inicial y nudo final. Si el error persiste hay que ponerse en contacto con los autores del modelo.

- "EN LA RED INTERNA SE HA ENCONTRADO UN TOTAL DE n NUDOS SIN ARCO ENTRANTE O SALIENTE (RED NO CERRADA)")

Este mensaje puede aparecer en los casos siguientes:

- Se ha definido una conducción que empieza en un nudo al que no llega ninguna otra conducción o ninguna aportación.

- Se ha definido una conducción que acaba en un nudo del que no sale ninguna otra conducción o ninguna demanda.

- Se ha definido un embalse en un nudo y no sale de él ninguna conducción o ninguna demanda.

si, después de revisados estos puntos, el error persiste hay que ponerse en contacto con los autores.

## **8. INSTALACION Y EJECUCION DEL MODELO.**

El modelo en principio ha de ejecutarse bajo ventana de comandos de Windows XP o superior, a no ser que se haya obtenido un ejecutable distinto del normal. La instalación que se explica es la normal. Si el entorno en que se trabaja no es Windows, o el ejecutable no es el normal, la instalación sería diferente.

El programa no requiere ninguna configuración especial para la instalación, basta con copiarlo en el directorio del disco duro elegido.

La ejecución se lleva a cabo como la de cualquier otro programa en entorno Windows, simplemente con hacer doble-click en el archivo ejecutable.

Para que se realice la simulación, también será necesario que el ejecutable se encuentre en el mismo directorio que el archivo de datos generales DATGEN.OPT y los archivos correspondientes a las aportaciones declaradas en este.

Para automatizar la creación del archivo de entrada: DATGEN.OPT, y la salida de resultados que afectan a los elementos (EMBALSES.PRN, CONDUCCI.PRN, DEMANDAS.PRN), se ha dispone de la interfaz gráfica. (AQUATOOL).



## 9. REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFIA.

- Andreu, J., J.Capilla, y E. Sanchís, 1991, "Sistema soporte de decisión basado en ordenador para planificación de sistemas complejos de recursos hídricos", *III Simposio sobre el Agua en Andalucía*, Córdoba, 1991, pp. 55-73.
- Andreu, J., J. Gómez y J. Marco, 1986, "Un modelo de optimización para el sistema de recursos hidráulicos superficiales Júcar-Turia", *Revista de Obras Públicas*, Febrero, 1986 pp. 123-132.
- Bazaraa, M.S. and J. Jarvis, 1977, *Linear programming and network flows*, John Wiley & Sons.
- Bersetkas D (1985) A unified framework for primal-dual methods in minimum cost network flows problems. *Math Program* 32, 125-145
- Bersetkas D,Tseng P (1988) The relax codes for linear minimum cost network flow problems. *Ann of Oper Res* 13, 125-190
- Bersetkas D , Tseng P (1994) RELAX-IV: A Faster Version of the RELAX Code for Solving Minimum Cost Flow Problems. Completion Report under NSFGrant CCR-9103804. Dept. of Electrical Engineering and Computer Science, MIT, Boston
- Bersetkas D (1998) *Network Optimization. Continuous and discrete models*. AthenaScientific, Belmont
- Estrada, F., 1991, "Criterios e indicadores para evaluar el funcionamiento de un sistema de recursos hídricos", en *Curso sobre Modelos de Gestión de Sistemas de Recursos Hídricos*, CEDEX, Madrid.
- Fredericks J, Labadie J, Altenhofen J (1998) Decision Support System for conjunctive Stream-Aquifer Management. *J Water Resour Plan Manag* 124, 69-78
- Hamdan, A.S. and D.D. Meredith, 1975, "Screening Model for Conjunctive Use Water Systems", *J Hydraulics Div, ASCE*, Vol. 101, No.HY10, October.
- Haro D, Paredes J, Solera A, Andreu J (2012). A model for solving the optimal water allocation problem in river basins with network flow programming when introducing non-linearities. *Waterresourmanag* 26(14), 4059-4071.
- IPH,2008. BOE nº229 de 22 de septiembre de 2008. "ORDEN ARM/2656/2008, de 10 de septiembre, por la que se aprueba la instrucción de planificación hidrológica."
- Kennington JL, Helgason RV (1980) *Algorithms for Network Programming*. John Wiley and Sons, New York
- Kuczera G (1993) Network Linear Programming Codes for Water-Supply Headworks Modeling. *J Water Resour Plan Manag* 119, 412-417
- Luenberger, D.G., 1973, *Introduction to linear and nonlinear programming*, Addison-Wesley.
- Martin, Q.W., 1981, *Surface water resources allocation model AI-V: Program documentation and user's manual*, Rep. UM-35, Texas Department of Water Resources, Austin, Tex, USA.

Martin, Q.W., 1982, *Multireservoir simulation and optimization users manual SIM-V: Program documentation and users manual*, Rep. UM-38, Texas Department of Water Resources, Austin, Tex, USA.