



# **AQUATOOL**

## EJEMPLO DE SIMULACIÓN CON GEOAQUATOOL.

### Ejercicio 2

## SIMULACIÓN DE ACUÍFEROS EN EL MÓDULO DE SIMULACIÓN DE LA GESTIÓN DE CUENCAS CON UTILIZACIÓN CONJUNTA.

---

Equipo [Aquatool](#).

Grupo de Ingeniería de Recursos Hídricos

[IIAMA](#)

[UPV](#)

Febrero de 2025

## Contenido

1. Caso de estudio.....	3
2. Modelación del acuífero.....	4
2.1. Representación del acuífero.....	5
2.2. Recarga natural del acuífero.....	6
2.3. Representación de los tramos de río conectados con el acuífero.....	7
2.4. Simulación del bombeo.....	8
3. Simulación de la explotación del acuífero mediante un modelo unicelular.	9
4. Desarrollo de un modelo distribuído del acuífero con Aquival.....	11
4.1. Geometría y condiciones de contorno del acuífero.....	11
4.2. Propiedades hidráulicas.....	13
4.3. Acciones elementales.....	13
4.4. Parámetros de control.....	14
4.5. Estado inicial del acuífero y simulación con AQUIVAL.....	15
5. Definición del modelo distribuído del acuífero en GeoAquaTool.....	16
5.1. Recarga natural del acuífero.....	18
5.2. Conexión con el río.....	19
5.3. Bombeo.....	19
6. Análisis de resultados.....	19
6.1. Estudio de la capacidad de bombeo.....	20
6.2. Estudio de la elección de la situación de los pozos.....	20

## 1. Caso de estudio.

Se continuará con el sistema de explotación descrito en el capítulo primero. Se tratará de mejorar la garantía de la demanda agraria mediante la instalación de pozos de bombeo sobre un acuífero aluvial en conexión con el río en un tramo comprendido entre el Azud Grande y la ICA situada aguas abajo del vertido.

Se estima que el acuífero tiene una anchura media de unos 6 km, y longitud de 20 km, un coeficiente de almacenamiento de 0.1 y transmisividad de 1000 m<sup>2</sup>/día.

La recarga del acuífero por lluvia se estima en unos 100 mm/año<sup>1</sup>. Aunque no se dispone de una serie de datos más precisos.

Se considera dos opciones para la construcción de los pozos (ver figura) la primera "pozos 1" se situarían entre 1 y 2 km de distancia del río y a 4 km de la parte más alta, y la segunda "pozos 2" a más de 5 km del río y a 10 km del inicio.

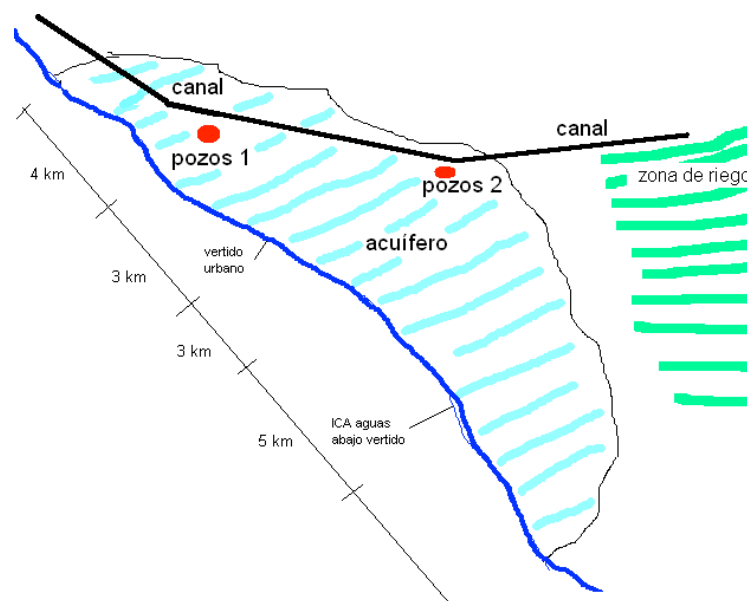


Figura 1: Esquema de la zona del acuífero.

<sup>1</sup> La aportación del acuífero al río sería de  $100e^{-3} * 5e3 * 20e3 * 1e^{-6} = 10 \text{ hm}^3/\text{año} = 0.32 \text{ m}^3/\text{s}$  promedio. A esto se agregaría la escorrentía superficial, pero como se da solo en invierno en que el caudal es mucho más alto, queda dentro del margen de error en los datos de las aportaciones aguas arriba.

Al plantear la instalación de bombeos en el acuífero por un caudal muy superior a su recarga media (la demanda a servir es de 80 hm<sup>3</sup>/año) se entiende que se espera que el acuífero se recupere detrayendo caudal del río. Esto tendrá inevitablemente consecuencias sobre el caudal del río, y obligará a utilizar la regulación del embalse para mantener un caudal mínimo en el río.

En este ejercicio se analizará las posibles consecuencias de esta actuación y las consecuencias que tendrá sobre la gestión del embalse y sobre la garantía del resto de demandas.

En relación con las reglas de operación analizadas en el ejercicio 1, en el desarrollo de este documento, a priori se considerará el umbral de almacenamiento en el embalse para el suministro a otras demandas fijado en 30 hm<sup>3</sup>.

## 2. Modelación del acuífero.

La primera cuestión a resolver es la elección del modo de simular el acuífero.

En simulación de cuencas es habitual recurrir a un modelo del tipo "unicelular" para simular el efecto de los bombeos en un acuífero sobre su relación con el río (Andreu, 1983)<sup>2</sup>.

$$V_n = V_{n-1}e^{-\alpha} + \frac{R_n}{\alpha}(1 - e^{-\alpha}) \quad (1)$$

$$Q_n = \alpha V_n = Q_{n-1}e^{-\alpha} + R_n(1 - e^{-\alpha}) \quad (2)$$

Donde:

(V<sub>n</sub>) representa el volumen almacenado a final del mes 'n' por encima del nivel de descarga al río;

(Q<sub>n</sub>) el caudal desaguado al río durante el mes 'n';

(R<sub>n</sub>) la recarga recibida por el acuífero durante ese mes;

y (α) el parámetro de desagüe del acuífero.

Este modelo tiene la ventaja de que requiere de un solo parámetro (α) que podría ser aproximado a partir de datos de aforo en el río.

---

<sup>2</sup> Andreu, J. "Modelos agregados y distribuidos. Modelos unicelulares. Modelos Glover-Jenkins", en "Utilización conjunta de aguas superficiales y subterráneas", ed. por M. Varela, SGOP., Madrid, 1983

La segunda opción consistiría en calibrar un modelo del acuífero de parámetros distribuidos, en el cual podría representarse los bombeos en su localización correcta y se obtendría los resultados de detracción de caudal del río distinguiendo en los tramos que sea de interés. El modelo SIMGES permite la simulación de acuíferos por el método de los autovalores (Andreu y Sahuquillo, 1987)<sup>3</sup>. Además, AQUATOOL incluye el módulo AQUIVAL que facilita el cálculo de los parámetros para dicho modelo a partir de la descripción de una modelación del acuífero mediante el método de diferencias finitas.

A continuación, se presenta la modelación por cada uno de los dos procedimientos mencionados.

Para incluir el modelo del acuífero junto con los bombeos en el modelo de la cuenca se aplica los cambios que se describen a continuación. La Figura 2 representa una copia del esquema de simulación del sistema con la inclusión del modelo del acuífero.

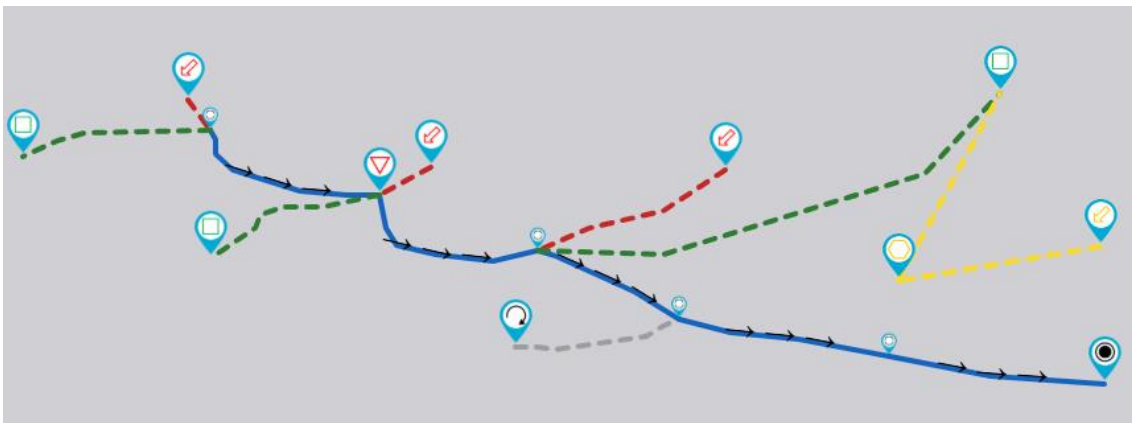
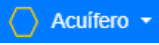


Figura 2: Esquema de simulación del sistema de uso conjunto en GeoAquaTool

## 2.1. Representación del acuífero.

Un acuífero se agrega mediante la opción  que presenta un desplegable con los tipos de modelo disponibles para su representación. Se seleccionará el tipo "Unicelular" para el modelo agregado y "Autovalores" para el modelo distribuido. En el siguiente apartado se describe la configuración para el modelo distribuido. En este caso seleccionaremos el modelo "unicelular".

---

<sup>3</sup> Andreu, J. y A. Sahuquillo. "Efficient Aquifer Simulation in Complex Systems", Journal Water Planning and Management. Vol. 113, No.1, 1987

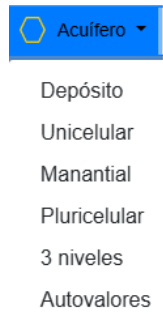


Figura 3: Opciones de tipo de modelo para la simulación de acuíferos en GeoAquaTool.

El modelo unicelular (Figura 4) solo requiere el dato de almacenamiento inicial un parámetro ( $\alpha$ ) que regula la velocidad de flujo entre el acuífero y el río. Para este caso, y por no disponer de más información, se utilizará la expresión con que se calcularía el primer autovalor para un acuífero

rectangular:  $\alpha = \frac{\pi^2 \cdot T}{4SL^2}$  que daría un valor de 0.0007 días<sup>-1</sup>. La validez del uso de esta expresión para el cálculo de alfa es muy limitada y se explica en Sahuquillo (1981)<sup>4</sup>. En la figura se aprecia como el programa indica una incidencia en la validación de datos del modelo "conexiones con acuífero suma 0, debe sumar 1" debido a que todavía no se ha definido ninguna conexión entre este y el sistema superficial (como se verá en el apartado 2.3)

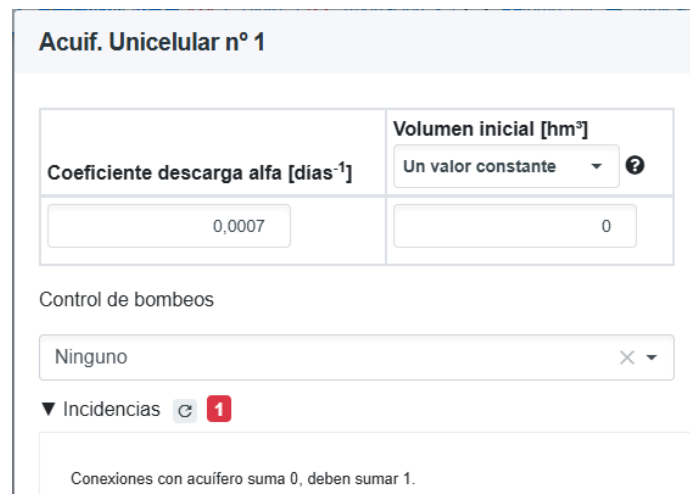



Figura 4: Definición de datos para el modelo unicelular.


## 2.2. Recarga natural del acuífero.

La recarga natural de un acuífero no puede ser medida directamente. En su lugar se suele recurrir a la estimación de esta recarga mediante un modelo

<sup>4</sup> Sahuquillo A. "obtención de funciones de influencia sobre los caudales de un río, de los bombeos en un acuífero rectangular homogéneo e isótropo conectado con él". IV asamblea Nacional de Geodesia y Geofísica. Zaragoza, 1981


lluvia-escorrentía como el modelo EVALHID que se incluye también en AquaTool. Otra alternativa es simplificar el problema recurriendo a la simulación "por superposición al régimen natural" que consiste en considerar que el drenaje natural del acuífero está contenido en las series de aportaciones superficiales obtenidas de la restitución de aforos. Y asumiendo esto, considerar el modelo como una representación parcial del acuífero en que solo se simula las alteraciones del régimen natural debidas a la explotación del mismo. GeoAquaTool permite optar por cualquiera de las dos opciones. En este caso, puesto que se dispone de un dato de recarga promedio del acuífero se incluirá esta recarga en el modelo.

Para incluir datos de recarga del acuífero se dispone del elemento tipo aportación en acuífero que se encuentra en el desplegable  como "subterránea". Este elemento se traza igual que el elemento aportación superficial ya descrito en ejercicios anteriores. La información disponible indica una recarga media de 100mm, lo que multiplicado por la superficie del acuífero resulta un valor de 12 hm<sup>3</sup>/año, unos 0.38 m<sup>3</sup>/s en las unidades que requiere el modelo (Figura 5). Esta recarga se podría distribuir solo a lo largo de los meses de lluvia. Aunque seguirá siendo una aproximación.



Recarga lluvia

Datos aportación [m<sup>3</sup>/s]

Un valor constante 


0,38

 Valor promedio: 11,984 [hm<sup>3</sup>/año]

Figura 5: Fichas de datos para la recarga de lluvia al acuífero.

### 2.3. Representación de los tramos de río conectados con el acuífero.

Para la simulación conjunta de aguas superficiales y subterráneas es necesario establecer una conexión entre ambos subsistemas que regule la influencia entre ellos. En el modelo matemático del acuífero unicelular se calculaba 2 variables: un volumen almacenado (V) y un caudal de salida del acuífero (Q). Este caudal representa la salida total del como consecuencia de las acciones sobre el mismo.

Con esta finalidad, los elementos tipo conducción permiten la activación de su conexión con acuíferos, mediante la opción . Esta opción activa el cuadro de datos (Figura 6)

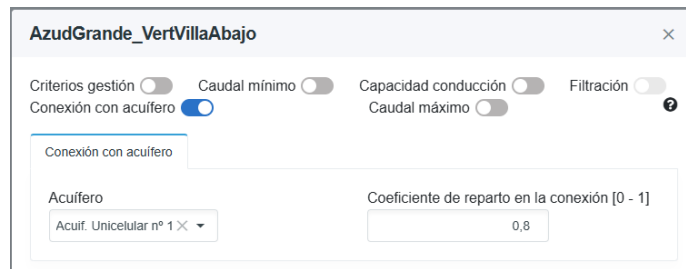
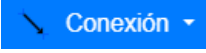


Figura 6: Datos para la conexión río acuífero en los elementos tipo conducción.

Se va a activar la conexión con el acuífero en los tramos "AzudGrande\_VertVillaAbajo" y "VertVilla Abajo\_I CaVillaAbajo". Para ambas conducciones se seleccionará el acuífero previamente dibujado para su conexión y se indicará un "coeficiente de reparto en la conexión" de 0.8 y 0.2 respectivamente. Estos parámetros deben sumar 1 y su función es asignar a cada tramo una fracción del resultado obtenido en la simulación del acuífero para la variable caudal.

## 2.4. Simulación del bombeo.

El programa proporciona dos tipos de elemento para la simulación de bombes: "bombeo a demanda" y "bombeo adicional", ambos disponibles bajo el icono . El primero se traza desde el acuífero a la demanda servida, y el segundo puede unirse a un nudo con lo que el bombeo se incorpora al sistema superficial para cualquier uso conectado a este nudo. En este caso se utilizará el bombeo a demanda (Figura 7).

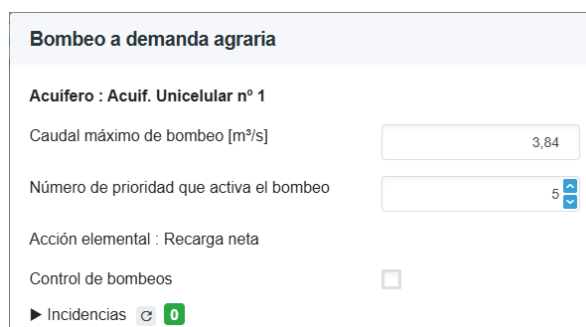


Figura 7: Datos de bombes en ficha de demanda consuntiva

El elemento de bombeo requiere un dato de capacidad máxima del bombeo y el número de prioridad que lo activa. Si se define un número de prioridad menor que para las tomas (más prioritario) el modelo priorizará el suministro desde el bombeo antes que el suministro superficial. En este caso se fijará un valor superior para que solo recurra al bombeo cuando no disponga de agua superficial.



La ficha del bombeo también permita la definición de una regla de operación que impida los bombeos si algún parámetro de control del acuífero alcanza un determinado nivel de alerta. Por ejemplo, la Figura 8 presenta la activación del control de bombeos cuando el volumen simulado descendiendo por debajo de  $-80\text{hm}^3$ .

Control de bombeos	<input checked="" type="checkbox"/>
Parámetro de control	Volumen total <input type="text"/>
Umbral	-80 <input type="text"/>

Figura 8: Activación del control de bombeos en función del estado del acuífero.

### 3. Simulación de la explotación del acuífero mediante un modelo unicelular.

Una vez completada la definición del acuífero, las acciones sobre el mismo y su conexión con el río; se puede proceder a la simulación del modelo para el estudio de la respuesta del acuífero a las diferentes alternativas de explotación.

Tras una primera simulación de la gestión del sistema en las condiciones indicadas se puede obtener, por ejemplo, los resultados que se muestra en la Figura 9 para el volumen almacenado en el acuífero.

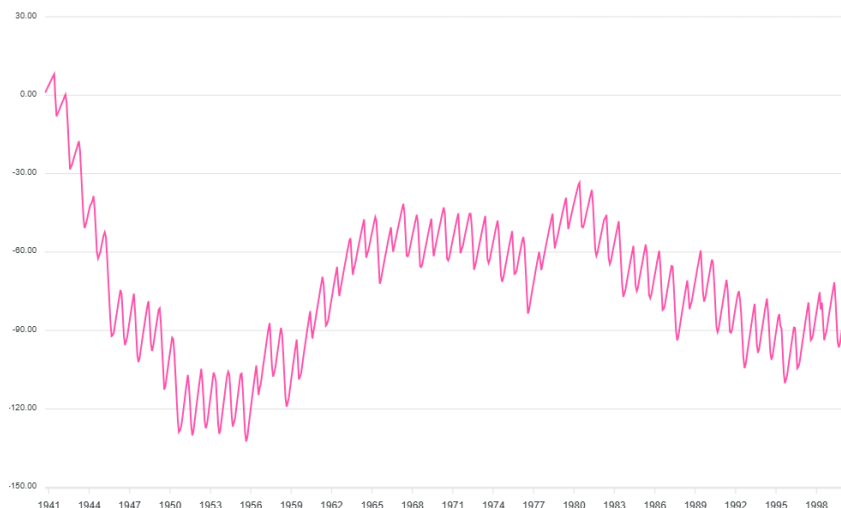


Figura 9: Resultado de la simulación del acuífero para la variable volumen.

En este resultado se puede deducir algunas explicaciones sobre el comportamiento del sistema en relación al acuífero.

- En primer lugar, durante los primeros 10 años de la simulación se va reduciendo el volumen almacenado en el acuífero. Esto es debido a que se parte de una condición inicial del acuífero arbitraria que no

tiene que ver con la gestión esperada del acuífero (se puso un valor de volumen inicial = 0). Este valor es claramente diferente a cualquier situación esperada para el mismo bajo estas condiciones de explotación. Para evitar resultados dependientes de la condición inicial se debería fijar un valor de volumen inicial similar a los valores simulados para condiciones de explotación normales (en este caso un valor entre  $-40$  y  $-80$   $\text{hm}^3$  podría ser justificable). Hay que tener en cuenta que tales "condiciones normales" dependen del escenario de bombeos analizado, ya que el acuífero alcanzaría un nivel de equilibrio diferente dependiendo de las acciones exteriores. En la primera revisión del modelo se corregirá el volumen inicial a un valor en el rango normal deducido de la simulación.

- Otra lectura de estos resultados es que las extracciones realizadas por la demanda agraria resultan en un nivel de reservas "negativo". Un valor negativo obviamente no es real. Se trata de un valor relativo a un sistema de referencia que es aquel en que no habría ningún intercambio de caudal con el río. Puesto que el valor de  $V$  es negativo significa que se produce una detracción de caudales del río. Esta detracción se puede leer en el resultado (o "parámetro de control") "caudal". La Figura 10 muestra el resultado de caudal para la simulación anterior y para una segunda simulación en que se ha fijado un volumen inicial de  $-70$   $\text{hm}^3$ . Se aprecia que el resultado oscila en un caudal de detracción de entre  $1$  y  $2$   $\text{m}^3/\text{s}$ . con un máximo del orden de casi  $3$   $\text{m}^3/\text{s}$  en un periodo de mayores extracciones.

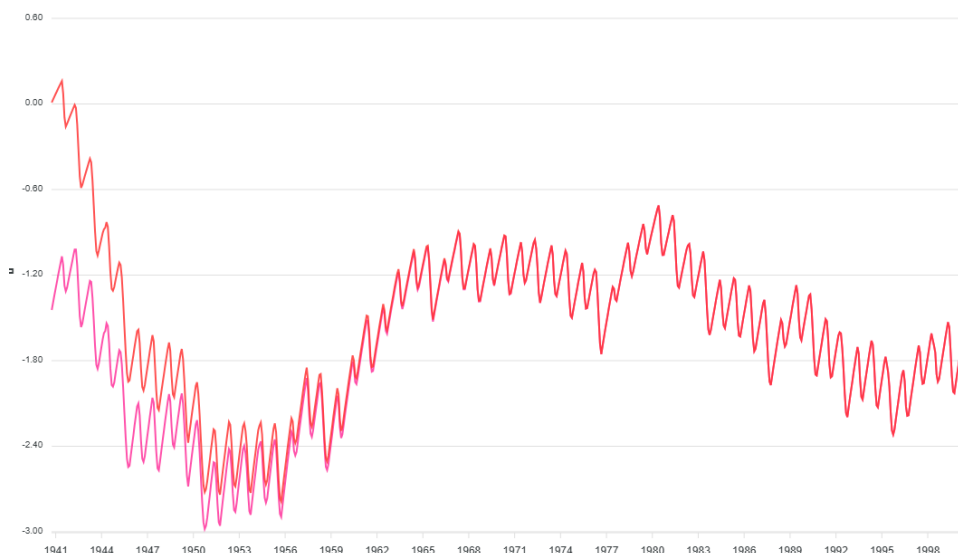


Figura 10: Resultado simulado del parámetro de control "caudal" en el modelo unicelular del acuífero para volumen inicial 0 y  $-70$ .

- En esta comparativa con dos valores iniciales de reservas en el acuífero se aprecia que transcurridos unos 15 años el resultado se independiza de la condición inicial.

#### **4. Desarrollo de un modelo distribuido del acuífero con Aquival.**

A continuación se elaborará un modelo distribuido para la simulación del acuífero en AquaTool. Para ello se utilizará el programa Aquival, que utiliza el método de los autovalores para parametrizar un modelo de diferencias finitas en un modelo de autovalores y autovectores para agilizar su simulación en el modelo de simulación del uso conjunto AqtSim.

Se ha planteado que el acuífero puede asimilarse a una geometría rectangular con parámetros hidrodinámicos constantes. La ventaja de utilizar un modelo distribuido con respecto a un modelo agregado, es que permitirá obtener resultados más realistas para los diferentes emplazamientos de los pozos, y también discriminar entre la relación con el río en los dos tramos seleccionados sin recurrir a parámetros arbitrarios.

Se va a discretizar el modelo del acuífero mediante diferencias finitas dividiéndolo en 6x20 celdas de 1 Km de lado y conectado por uno de sus lados con el río.

A continuación, se describe los datos generales utilizados para la preparación del modelo de simulación del acuífero.

##### **4.1. Geometría y condiciones de contorno del acuífero.**

Para definir la geometría y parámetros hidrodinámicos del acuífero se inicia mediante el menú del programa [Nuevo] o [Guardar como] (Figura 11). El modelo se configura siguiendo de forma ordenada las solapas que figuran en la parte superior de la ventana. En primer lugar (solapa [General]) se define la cuadrícula sobre la que se configura el modelo: en este caso 6 filas, 20 columnas y 1 capa. Se debe finalizar la definición pulsando el botón [Actualizar], que pasará a la siguiente solapa.

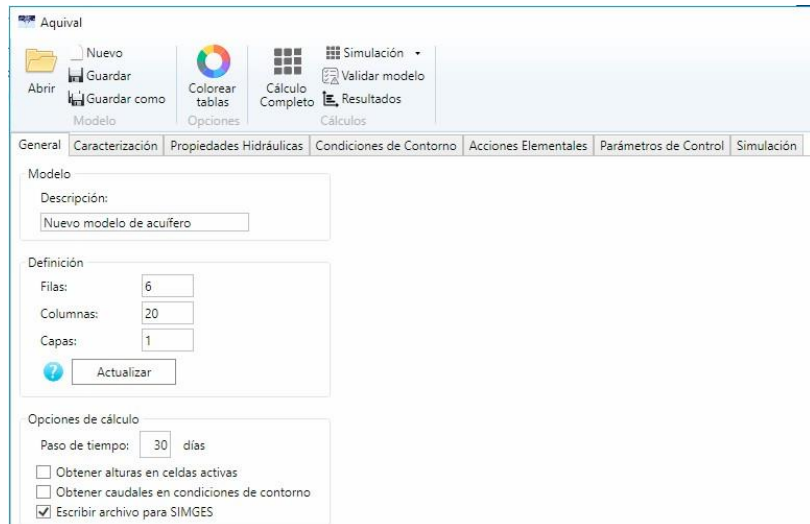


Figura 11. Inicio de un modelo de simulación de acuíferos con AQUIVAL.

En la solapa [Caracterización] se define la geometría de la malla: dimensiones (en metros) y tipología de celdas. Hay tres tipos de celda que se definen por los valores 0, 1 y 2: "Inactiva"=0; "Activa"=1 y "de contorno"=2. Todos los datos a definir en el modelo pueden ser editados con facilidad en una hoja de cálculo y pegados en el programa mediante el portapapeles de Windows. En este caso se define el acuífero rectangular con 6 x 20 celdas de 1 Km de lado cada una (Figura 12).

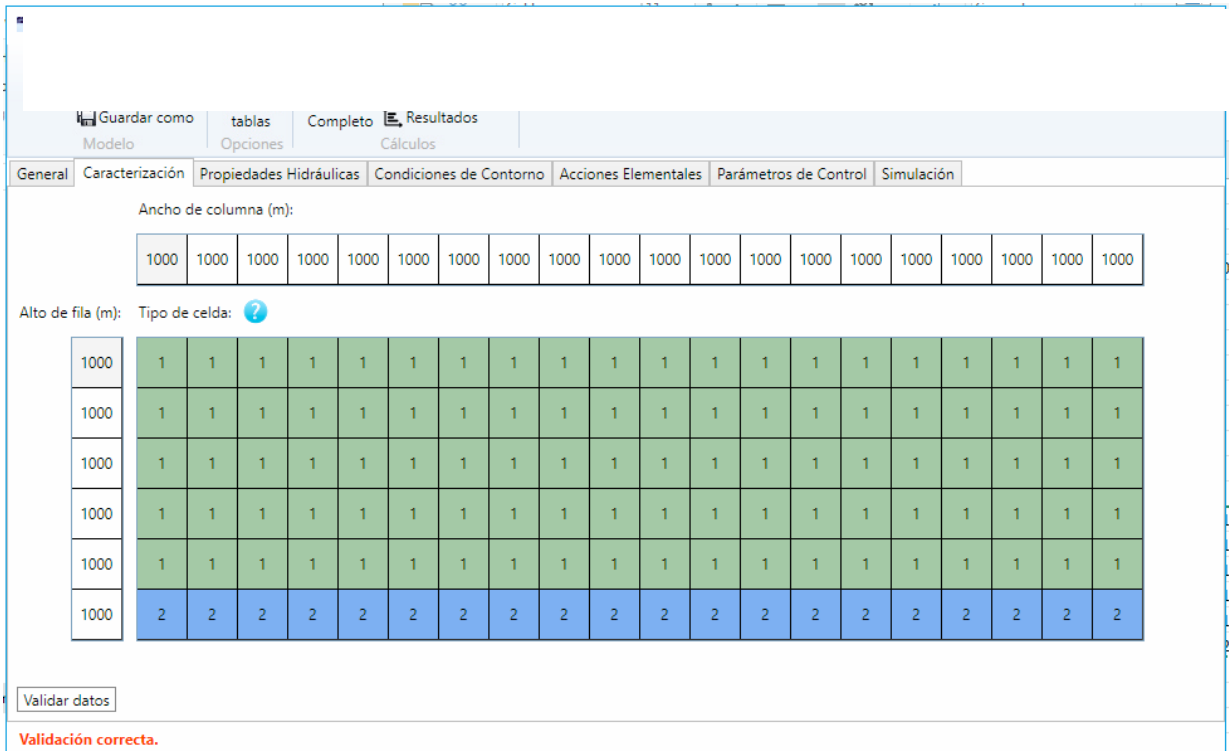


Figura 12. Datos para definir la discretización para un modelo de diferencias finitas en AQUIVAL.

## 4.2. Propiedades hidráulicas.

Las propiedades hidráulicas consisten en una matriz de datos de transmisividad o conductividad (con espesor) y coeficientes de almacenamiento. Para este ejercicio se ha dado un valor constante de transmisividad de 1000 m<sup>2</sup>/día en ambas direcciones y un coeficiente de almacenamiento de 0.1.

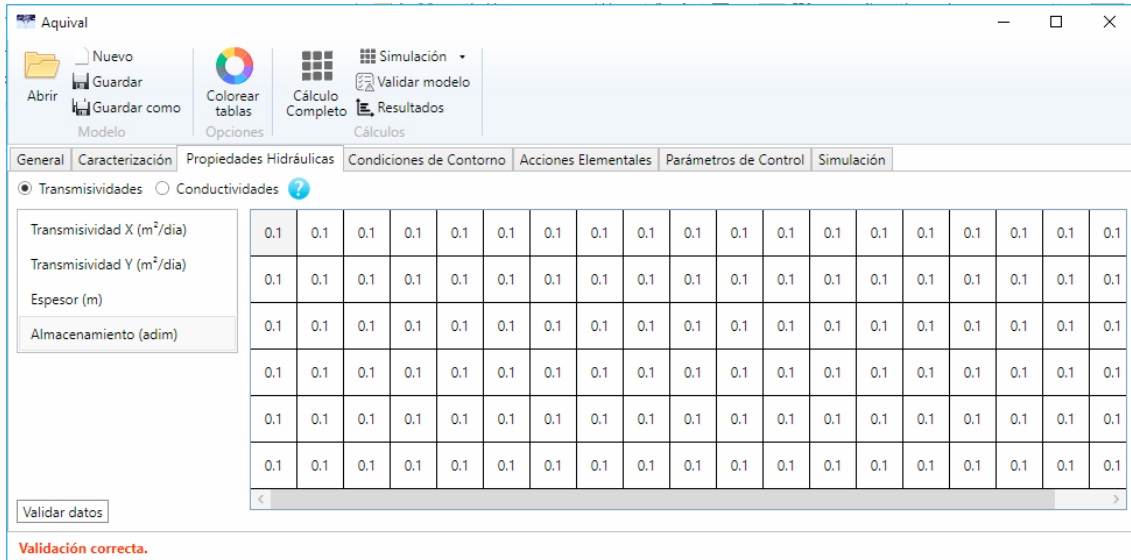


Figura 13. Datos para definir los parámetros hidrodinámicos para un modelo de diferencias finitas en AQUIVAL.

En la solapa [Condiciones de contorno] se caracteriza las celdas con condiciones de contorno no lineales (conexión con río, manantial o nivel externo constante). En este ejercicio no se utilizará esta propiedad.

## 4.3. Acciones elementales.

El paso siguiente es la definición de las "acciones elementales". Esto es: cada una de las acciones exteriores que se van a ejercer sobre el acuífero. Como acciones elementales se considera acciones de valor unidad<sup>5</sup>, por lo tanto, los datos necesarios son la selección de las celdas sobre las que se aplica y el coeficiente de reparto correspondiente a cada una de ellas.

En el ejemplo se ha de definir las siguientes acciones elementales:

1. **Recarga de lluvia**, con reparto superficial uniforme.
2. **Bombeo en pozos 1**. Se aplica sobre la celda F5C4 y F4C4.
3. **Bombeo en pozos lejos**. Se aplica sobre la celda F1C10 y F1C11.

<sup>5</sup> El valor real de cada acción será diferente en cada mes de la simulación, por esto es necesario definir las aquí como acciones unitarias. Téngase en cuenta que el modelo de autovalores es un sistema de ecuaciones lineal

4. **Detracciones imposibles en tramos de río.** Estas acciones son necesarias para que el modelo SIMGES descuenta del acuífero los valores de caudal de recarga que en ocasiones el modelo debería detraer del río pero no puede hacerlo porque no circula suficiente caudal por este. Se definen 3 acciones en la fila 5, una por cada tramo de río conectado que se define en el modelo SIMGES. Afectan a las columnas 1 a 7, 8 a 15 y 16 a 20 respectivamente.

Para su definición, en primer lugar, se da un nombre a cada acción y se pulsa el botón **+**, lo cual abre una nueva tabla para la entrada de los datos de porcentaje de la acción que se asigna a cada celda.

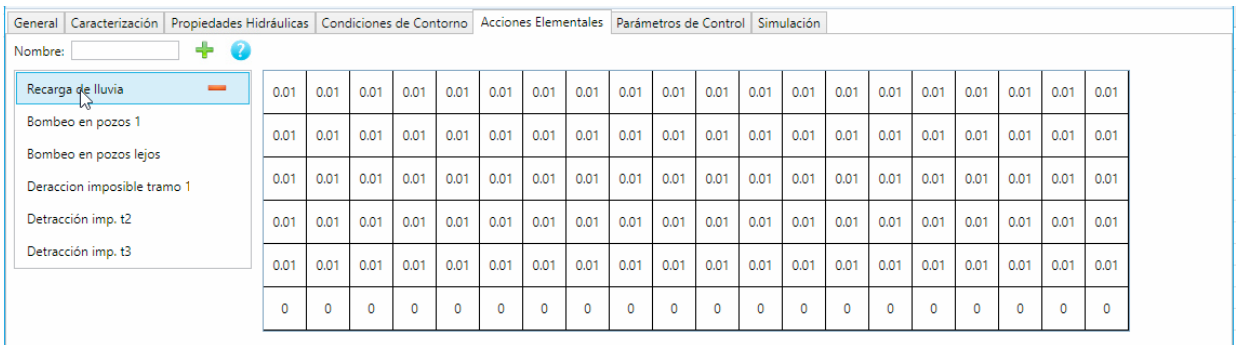


Figura 14. Definición de acciones elementales en AQUIVAL.

#### 4.4. Parámetros de control.

Los parámetros de control se definen de manera similar a las acciones elementales, pero estos pueden ser de diverso tipo, por lo que además se ha de seleccionar esta propiedad en el desplegable (Figura 15). Según la tipología escogida la definición de datos será diferente.

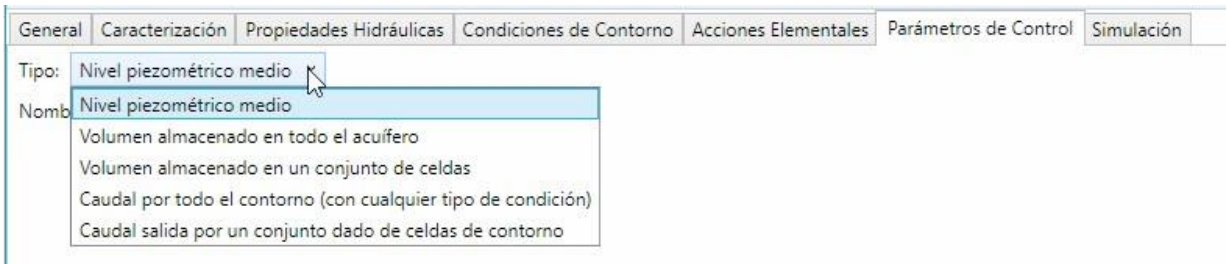


Figura 15. Tipos de "parámetros de control" en AQUIVAL

Se define 7 parámetros de control para evaluar diferentes propiedades del acuífero.

1. **Volumen almacenado.** Volumen total de agua almacenada en el acuífero.
2. **Salidas totales al río.** Es el resultado total de caudal de salida al río. Que si fuera negativo indicaría detracción de caudal del río.

3. a 5 **Salidas a río en cada uno de los tramos definidos.** El modelo calculará por separado el caudal de relación con el río para cada uno de los tramos definidos.
6. Nivel en los pozos cerca del río.
7. **Nivel en pozos lejos del río.**

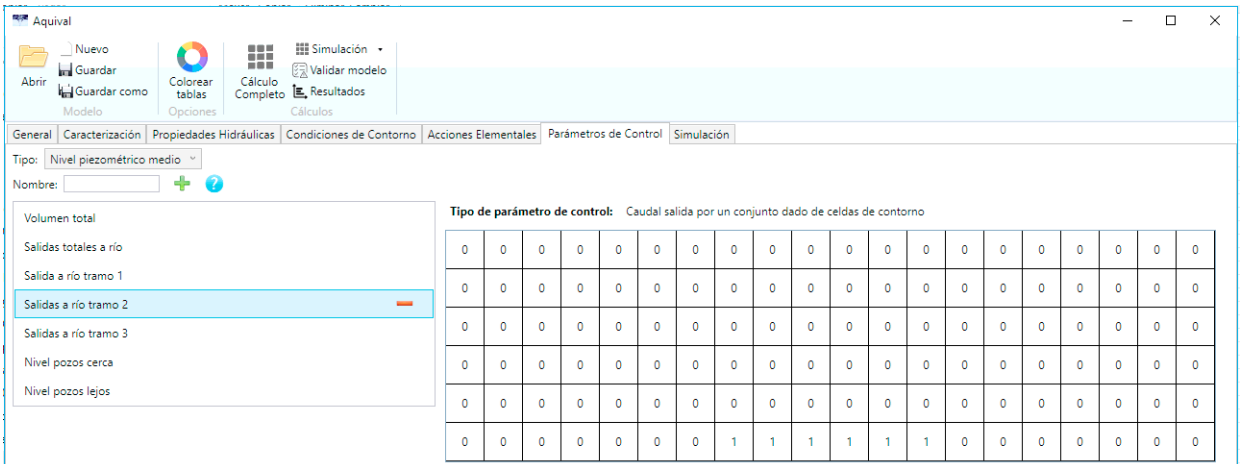


Figura 16. Definición de parámetros de control salida a río en tramo 2.

## 4.5. Estado inicial del acuífero y simulación con AQUIVAL.

Aquival permite la simulación del acuífero para un periodo de tiempo, lo cual puede ser empleado para la calibración del modelo.

Para un caso como el del ejemplo, en que se simula la gestión del acuífero con acciones futuras sería necesario obtener los niveles correspondientes a una situación normal de explotación del acuífero para utilizarlos como dato de estado inicial del acuífero para la simulación con AqtSim. El estado del acuífero en Autovalores se determina por su "vector de estado", que es proporcionado por AQUIVAL para cada mes de la simulación (archivo "avSimL.txt"). También se puede obtener las series de niveles piezométricos en todas las celdas indicándolo en la solapa [General] activando la opción "Obtener alturas en celdas activas"; estas alturas se escriben en el archivo "Alturas.txt". Este archivo contiene una fila de datos por cada paso de tiempo simulado y una columna por cada celda activa. Las alturas están referidas a la cota 0 correspondiente a las celdas de nivel constante tipo 2 marcadas en la solapa [Caracterización].

Puesto que se pretende estudiar dos modos de gestión diferentes, es necesario calcular 2 estados iniciales. Uno para cada alternativa de localización para los pozos. Como aproximación, con AQUIVAL se ha simulado el acuífero con un bombeo medio de 25 hm<sup>3</sup>/año. Esta cifra se ha obtenido de las simulaciones realizadas con el modelo unicelular (Figura 23)



en que se calculaba las posibilidades de extracción medias con diferentes valores de caudal de bombeo instalado.

Para realizar la simulación se debe primero definir la serie mensual de acciones elementales mediante la solapa [Simulación] → [Series de recarga] que requiere el número de periodos (en este caso meses) de la simulación (por ejemplo 20 años para lo que se pedirá 240 meses) Y dar la serie mensual de intensidades de las acciones elementales (Figura 17). Las series de datos de intensidades pueden prepararse en una hoja de cálculo y pegarlas después en la tabla de datos del modelo. Téngase en cuenta que sea cual sea la escala de tiempo de la simulación, los datos deben ir dados en m<sup>3</sup>/día.

General	Caracterización	Propiedades Hidráulicas	Condiciones de Contorno	Acciones Elementales	Parámetros de Control	Simulación
Alturas iniciales (m)						
Series de recargas (m <sup>3</sup> /día)						
Número de periodos: 240						
Fecha	Recarga de lluvia	Bombeo en pozos 1	Bombeo en pozos lejos	Deraccion imposible tramo 1	Detraccion imp t2	Detraccion imp t3
ene-17	1	-2.5	0	0	0	0
feb-17	1	-2.5	0	0	0	0
mar-17	1	-2.5	0	0	0	0
abr-17	1	-2.5	0	0	0	0
may-17	1	-2.5	0	0	0	0
jun-17	1	-2.5	0	0	0	0
jul-17	1	-2.5	0	0	0	0
ago-17	0	-2.5	0	0	0	0
sep-17	0	-2.5	0	0	0	0

Figura 17. Entrada de datos para la simulación con AQUIVAL:

Los datos de alturas iniciales para la simulación del modelo conjunto deberían aproximarse a las alturas medias que tendría el acuífero de implementarse el modo de explotación analizado. Para obtener estas alturas se puede realizar dos simulaciones del acuífero: una con los bombeos previstos en los pozos cerca y la segunda con los mismo en los pozos lejos. Cada una de estas simulaciones proporcionará un archivo de alturas en celdas activas ("Alturas.txt"). A continuación se repetirá cada simulación cambiando los datos de "Alturas iniciales (m)" por los obtenidos en el último mes de la simulación (última línea del archivo de alturas en celdas).

## 5. Definición del modelo distribuido del acuífero en GeoAquaTool.

Para incluir el modelo de autovalores en GeoAquaTool se agrega este de igual forma que se indicó para el modelo unicelular. En este caso la ficha que



se presenta (Figura 18) muestra una explicación de cómo obtener el modelo desde el programa Aqual. Si ya se ha realizado la simulación del modelo con Aqual, aquí deberá pulsar en "Abrir" para buscar este modelo.

#### Acuif. Autovalores nº 2

##### Obtención de datos desde Aqual

Esta pantalla muestra los parámetros del modelo para la simulación del acuífero mediante autovalores.

EL programa AQUIVAL genera los datos necesarios para que GeoAquatool pueda procesar el modelo del acuífero calibrado con el método de los autovalores.

Para obtener los parámetros del modelo, en AQUIVAL (versión 2023 o posterior) debe haber activado la opción "Escribir archivo para SIMGES".

Localice en la carpeta de trabajo de AQUIVAL el archivo con el nombre "Aqv-Geo.csv" y cópielo a la carpeta de este proyecto de GEOAQUAPOOL.

No hay datos disponibles

Para buscar otro proyecto de Aqual a cargar pulse:

Abrir


► Incidencias  3

Figura 18: Pantalla inicial para la carga de un modelo en autovalores para la simulación del acuífero.

Una vez cargado el modelo del acuífero la pantalla presenta un resumen de la información cargada y requiere completar la información sobre los parámetros de control que van a representar una conexión con el sistema superficial. En la imagen se ha resaltado en amarillo el mensaje que indica la acción requerida del usuario, ya que estos datos no son manejados en Aqual y son necesarios aquí. Se trata de la selección de aquellos parámetros de control que representan un flujo de intercambio de agua con el sistema superficial, y que se utilizarán en las conexiones con río. En este caso los parámetros que se conectarán con los dos tramos de río indicados en 2.3. El modo de seleccionarlos es indicar la acción elemental en que se aplicarán las detracciones imposibles si se producen. Esto es, cuando la simulación del acuífero resulta un caudal negativo, este es descontado del flujo en el río. Pero si el río no dispone de suficiente caudal, esta insuficiencia se denomina "detracciones imposibles". Y es necesario descontarla del acuífero para que el balance del sistema se mantenga. En este campo se selecciona acción elemental sobre la que se aplicará este descuento.

**Acuif. Autovalores** ×

---

**Definido modelo para la simulación del acuífero por el método de los autovalores**  
100 Autovalores, 6 Acciones elementales, 7 Parámetros de control

---

**Asignación de acción elemental para detracciones imposibles a parámetros de control flujo**  
Debe asignar las acciones elementales para detracciones imposibles en al menos un parámetro de control que represente la conexión con aguas superficiales.

	Parámetro de control	Acc. Elem. detracciones imposibles
1	Volumen total	<input type="text"/>
2	Salidas totales a r <sub>o</sub>	<input type="text"/>
3	Salida a r <sub>o</sub> tramo 1	Deraccion imposible tramo 1 <span style="float: right;">×</span>
4	Salidas a r <sub>o</sub> tramo 2	Detraccion imp t2 <span style="float: right;">×</span>
5	Salidas a r <sub>o</sub> tramo 3	<input type="text"/>
6	Nivel pozos cerca	<input type="text"/>
7	Nivel pozos lejos	<input type="text"/>

---

▶ Listado de parámetros utilizados

---

**Obtención de datos desde Aquival**  
 Esta pantalla muestra los parámetros del modelo para la simulación del acuífero mediante autovalores.  
 EL programa AQUIVAL genera los datos necesarios para que GeoAquatool pueda procesar el modelo del acuífero calibrado con el método de los autovalores.  
 Para obtener los parámetros del modelo, en AQUIVAL (versión 2023 o posterior) debe haber activado la opción "Escribir archivo para SIMGES".  
 Localice en la carpeta de trabajo de AQUIVAL el archivo con el nombre "Aqv-Geo.csv" y cópielo a la carpeta de este proyecto de GEOAQUAOL.

No hay datos disponibles

Para buscar otro proyecto de Aquival a cargar Abrir

---

**AQUIVAL**  
 Se dispone de un proyecto de AQUIVAL para este acuífero Editar acuífero

Figura 19: Ficha del acuífero en autovalores una vez cargado el modelo de Aquival.

## 5.1. Recarga natural del acuífero.

La recarga de lluvia se representa en este modelo de igual modo que para el acuífero unicelular, pero en este caso será necesario además indicar sobre qué acción elemental se asignará esta recarga (Figura 20).

**Recarga lluvia**

**Datos aportación [m³/s]**

Un valor constante ?

↻ Valor promedio: 11,984 [hm³/año]

**Acción elemental**

Recarga de lluvia ×

▶ Incidencias 0

Figura 20: Definición de la recarga de lluvia en el acuífero modelado pro autovalores.

## 5.2. Conexión con el río.

Las conexiones con el río se indican también de forma similar al caso anterior, pero en este caso el modelo ya dispone de un parámetro de control expresamente diseñado para conectar con cada tramo de río, por lo que se indicara este parámetro en cada tramo.

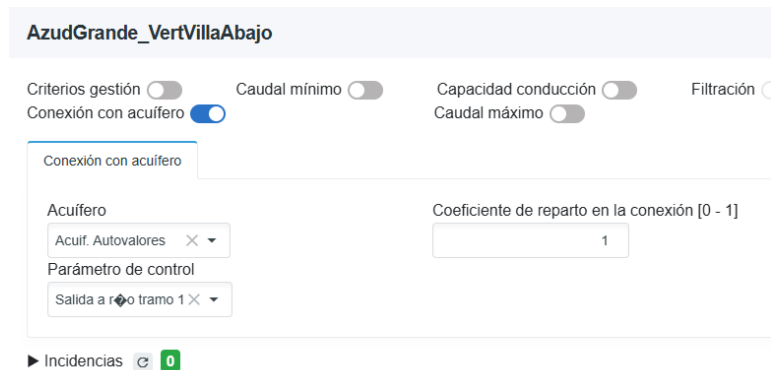


Figura 21: conexión río acuífero para el modelo en autovalores.

## 5.3. Bombeo.

Par el bombeo también se trazará de igual manera que en el modelo unicelular, pero en este caso se dispone de dos acciones elementales para el bombeo, una para los pozos cerca del río y otra para los pozos lejos, por lo que seleccionando una u otra se podrá obtener los resultados pertinentes para cada alternativa.

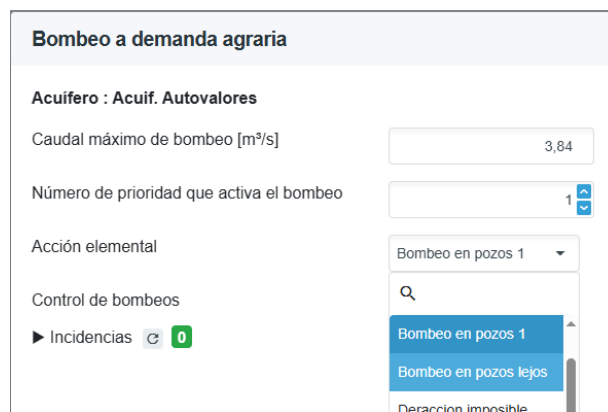


Figura 22: Selección de acción elemental para el bombeo en el modelo en autovalores.

## 6. Análisis de resultados.

Con los dos modelos descritos se puede realizar el análisis de diversas alternativas de gestión del sistema, a continuación se presenta una breve comparativa de algunas simulaciones para destacar la utilidad de los modelos.

A continuación, se destaca algunos aspectos del sistema de gestión que puede ser estudiados atendiendo solo a la parte del modelo que tiene mayor relación con la simulación del acuífero. El estudio de otros problemas como la gestión del embalse y del suministro externo ya han sido tratados en un ejercicio anterior. Y se invita al lector a ensayar la combinación de diversas alternativas

### 6.1. Estudio de la capacidad de bombeo.

En la ficha de la demanda se ha fijado sin ningún criterio un caudal máximo de bombeo de  $10 \text{ hm}^3/\text{mes}$  ( $3.84 \text{ m}^3/\text{s}$ ). Este puede ser un parámetro a analizar, para ello se podría hacer simulaciones con diferentes valores de caudal máximo de bombeo y relacionar este con el volumen medio anual extraído (Figura 23).

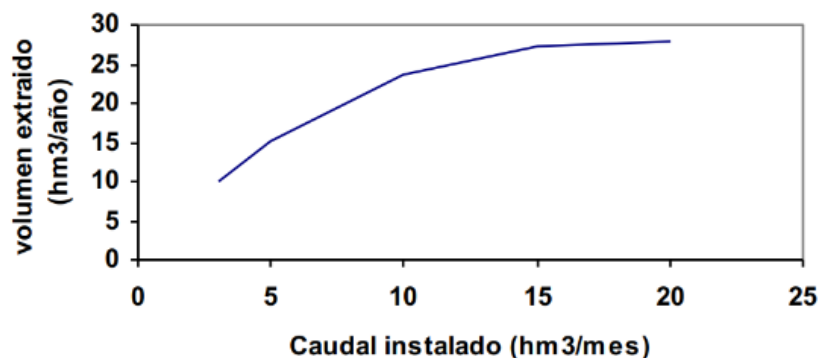


Figura 23. Relación del caudal máximo de bombeo con el volumen total de extracciones.

Este estudio es independiente del modelo subterráneo elegido, ya que el bombeo se activa solamente dependiendo de la disponibilidad de agua superficial.

Sí sería relevante el modelo utilizado si se analizara un criterio de bombeo basado en el estado del acuífero. El modelo agregado solo dispone de 2 parámetros (volumen y caudal) como criterio de decisión. El modelo distribuido permitiría diseñar cualquier indicador (nivel piezométrico, volumen o caudal en una zona concreta).

También tendría importancia el modelo subterráneo si la afección al caudal del río influyera en la gestión del sistema. Por ejemplo, si un objetivo es mantener un caudal mínimo en un tramo de río afectado por el acuífero.

### 6.2. Estudio de la elección de la situación de los pozos.

Se ha planteado la consideración de dos lugares alternativos para la construcción de los pozos. Esta distinción no puede ser tratada con el modelo agregado. Si no hubiera alternativa, se podría simular diferentes

hipótesis, por ejemplo, considerando que la opción "pozos 1" situados aguas arriba del vertido tendrán mayor efecto sobre el tramo de río aguas arriba del punto de vertido, mientras que los "pozos 2" tendrán más efecto sobre el tramo aguas abajo del vertido. O se podría simular la gestión de cada alternativa cambiando el valor del coeficiente de reparto de la conexión con uno y otro acuífero. Sin embargo, esto no deja de ser una conjetura que sería difícil de validar.

Con el modelo distribuido sí se puede tratar por separado ambas localizaciones de los pozos. También se puede tratar la afección de los bombeos sobre diferentes tramos del río. A continuación, se muestra el uso del modelo de la cuenca con el modelo de acuífero distribuido para tratar estas cuestiones.

La Figura 24 representa la afección al caudal de salida al río según que se considere los bombeos para riego situados en la ubicación más cerca del río o más lejos. Se comprueba claramente que si los pozos se sitúan en el punto más alejado el efecto sobre el caudal del río es más uniforme. Mientras que si se sitúan cerca la afección al caudal del río es inmediata, con valores de afección muy superiores a la opción lejos.

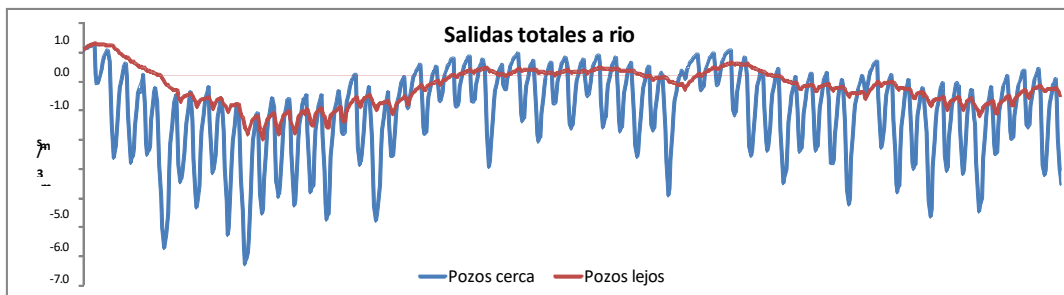


Figura 24. Afección calculada al caudal en el río de las extracciones para riego en cada una de las 2 ubicaciones previstas.

En la Figura 25 se muestra la misma afección pero distinguiendo entre el tramo de río antes del punto de vertido de la demanda urbana y el tramo posterior. Comparando estas figuras se aprecia que la opción de los pozos cerca, al estar también aguas arriba toda la afección al río se da aguas arriba del punto de vertido, al contrario que con la segunda opción.

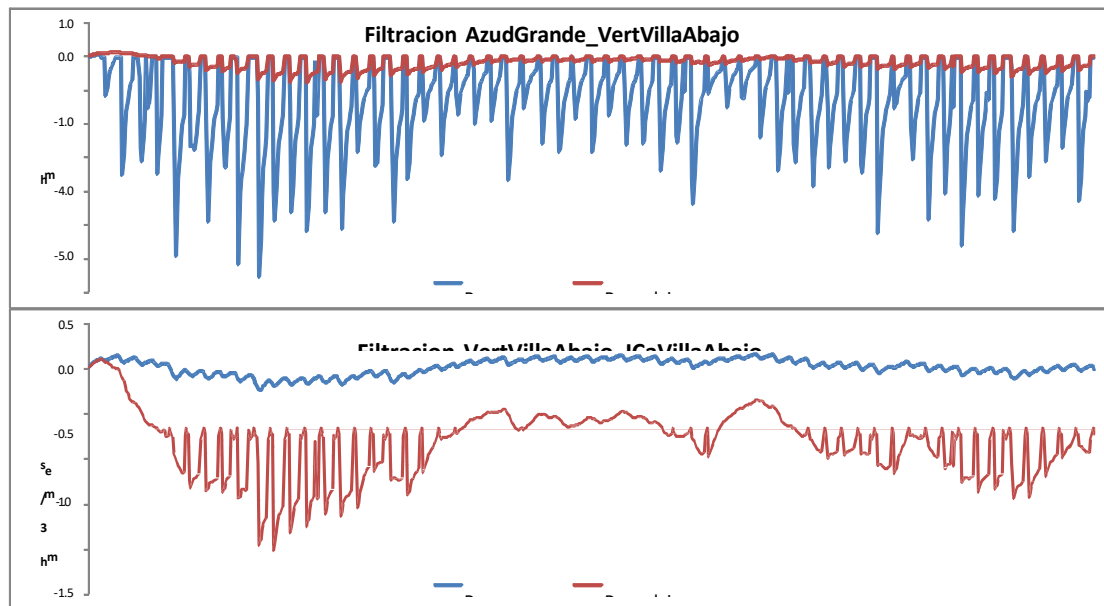


Figura 25. Afección calculada al caudal en los tramos de río aguas arriba y aguas abajo del punto de vertido causada por las extracciones para riego en cada una de las 2 ubicaciones previstas.

En la misma Figura 25, también se observa que para el tramo aguas arriba del vertido, al no circular caudal durante el verano, el valor de las filtraciones es 0 para las 2 alternativas. Mientras que aguas abajo del punto de vertido, para la opción de pozos lejos también se filtraría todo el caudal de vertido durante el verano.

A la vista de estos resultados, parece clara la flexibilidad de los modelos para el análisis de alternativas en los procesos de decisión relacionados con la explotación de acuíferos en combinación con la gestión del sistema superficial.