DESARROLLO DE UN MODELO DE EUTROFIZACIÓN DE EMBALSE CON LA HERRAMIENTA GESCAL DEL SISTEMA DE APOYO A LA DECISIÓN AQUATOOL.

Javier Paredes y Abel Solera
GRUPO DE INGENERÍA DE RECURSOS HÍDRICOS
INSTITUTO DE INGENIERÍA DEL AGUA Y MEDIO AMBIENTE
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA

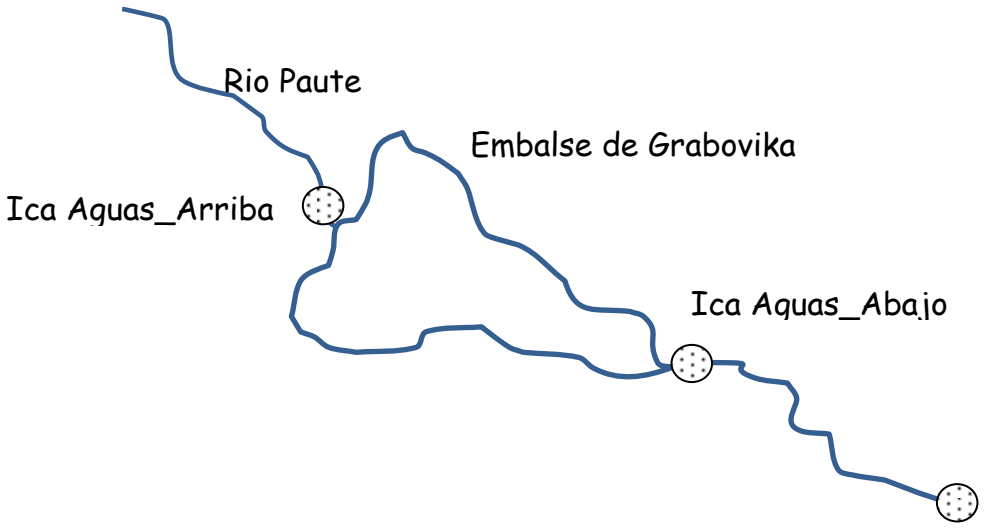
0. Enunciado del problema

El esquema de la figura muestra el caso del embalse Gravobika que recoge las aguas de la cuenca natural del llamado río Paute. Aguas arriba del embalse realiza un vertido la ciudad de Villa Arriba y en las épocas de años secos la mayor parte del caudal de entrada al embalse procede de este vertido. Desafortunadamente la depuradora de la población no dispone de tratamiento de eliminación de fósforo ni de nitrógeno por lo que el embalse sufre continuos problemas de "bloom" de algas y se encuentra en un estado de eutrofia avanzada.

En este ejercicio se pretende realizar un modelo del embalse para poder responder a diferentes preguntas sobre cuáles son las posibilidades de mejora de la calidad en el mismo y aguas abajo.

En cuanto a los datos disponibles se tiene los siguientes:

- Salidas y volumen embalsado del embalse medidas mes a mes así como la curva batimétrica del embalse.
- Concentraciones medidas por estaciones de calidad agua arriba del embalse.
- Seguimiento de clorofila del embalse con mediciones en diferentes momentos temporales del año.
- Datos meteorológicos de la zona de estudio.
- Datos de seguimiento limnológico del embalse en donde se incluyen diferentes mediciones de diferentes variables físico químicas a diferentes profundidades y en varias épocas del año.
- Datos de flujos de nutrientes desde el sedimento a la columna de agua fruto de campañas de muestreo.



Otros datos:

- Año inicial de simulación: 1999; Número de años de simulación: 6

Embalse:

Volumen inicial: 5.85; Capacidad: 20 hm^3; Datos de seguimiento de embalse: Ver hoja Excel adjunta.

Parámetros: Se supone que el modelo ha sido calibrado previamente por un técnico y que los parámetros se aportan como datos.

Curva batimétrica:

Cota (m)	Sup (Has)	Vol (hm3)
0	0.001	0
5	60.875	2.285
7.5	72.75	3.93
10	94.97	5.99
12.5	111.542	8.545
15	142.006	11.662
17.5	161.218	15.426
20	200.096	19.86
22.5	228.668	25.17
24.4	260.148	29.83

Concentraciones Iniciales del embalse

	Concentración Inicial (mg/l)	Unidades
Conductividad	1585	µs/cm
Solidos	28	Mg/l
DBO5	6	mgO/l
OD	5.3	mgO/l
Norg	0.01	mgN/l
NH4	0.12	mgNH4/l
NO3	9.8	mgNO3/l
Chla	100	mg/l
Porg	0.01	mgP/l
PO4	0.65	mgPO4/l

Flujos desde el sedimento

	Flujo Sedimento (gr/(m2d))
OD	-0.2
NH4	0.05
NO3	-0.07
PO4	0.002

Parámetros calibrados:

NOMBRE	Valor	NOMBRE	Valor
Constante de reaireación(d^{-1})	0.5	Velocidad sedimentación fitoplancton(md^{-1})	0.08
Constante de degradación materia orgánica(d^{-1})	0.06	Degradación del fósforo orgánico(d^{-1})	0.05
Velocidad sedimentación materia orgánica(md^{-1})	0	Sedimentación del fósforo orgánico(md^{-1})	0.05
Constante degradación nitrógeno orgánico(d^{-1})	0.05	Intensidad saturación lumínica (Lang d^{-1})	320
Sedimentación nitrógeno orgánico(md^{-1})	0.05	Base de atenuación lumínica(md^{-1})	1
Constante nitrificación del amonio(d^{-1})	0.12	Atenuación por sombre propia (md^{-1} $(mgl)^{-1}$)	22
Parámetro de desnitrificación (d^{-1})	0.15	Degradación fosfatos(d^{-1})	0
Muerte/respiración fitoplancton(d^{-1})	0.07	Crecimiento del fitoplancton (d^{-1})	1.8

0. Introducción.

Este ejercicio tiene como objetivo explicar la creación de un modelo de eutrofización de embalses con la herramienta GESCAL del Sistema Soporta a la Decisión AQUATOOL. Se supone que el usuario tiene los conceptos en materia de calidad de aguas suficientes para conocer que es un modelo mecanicista de calidad de aguas de eutrofización en un embalse.

1. Inicio del modelo.

El primer paso a dar es iniciar la aplicación, para ello nos vamos a: *Inicio/Programas/Aquatool/AquatolDMA*

Una vez iniciado el programa la aplicación aparecerá vacía y tenemos que decidir entre crear un nuevo ejemplo o abrir uno existente. En este caso queremos crear uno nuevo para lo que hacemos Archivo/Nuevo como se indica en la Figura 1.

Figura 1. Creación de un nuevo ejemplo

Una vez indicado el directorio y el archivo de trabajo la interfaz nos pide los parámetros básicos para la creación del modelo de SIMGES. Aunque en realidad el modelo de SIMGES sirve para la simulación de cuencas y en este ejemplo no va a ser visto en profundidad es necesario realizar la simulación de los flujos ya que los resultados de este modelo son un input para el modelo de GESCAL.

Los parámetros son los que se muestran en la Figura 2.

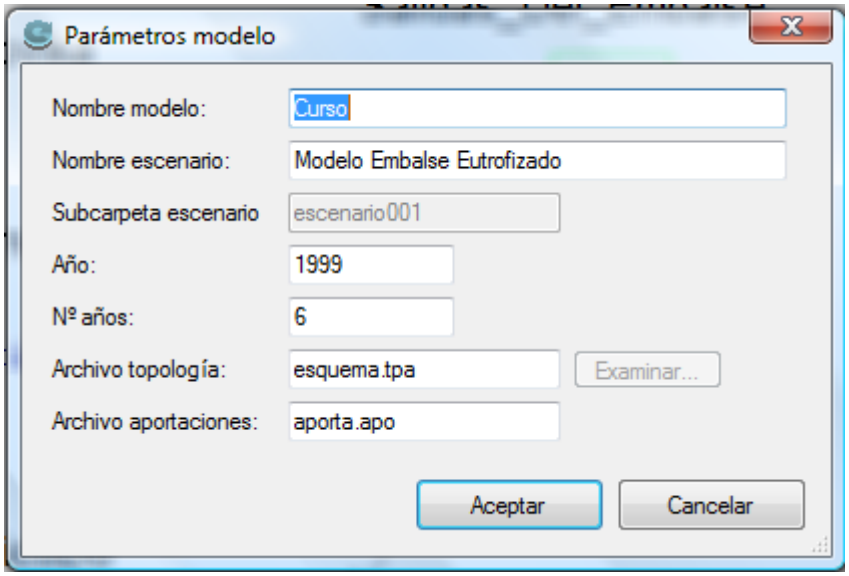


Figura 2. Parámetros básicos del modelo de SIMGES.

Entre estos datos figuran: dos títulos identificativos, elegidos por el usuario; el año de inicio de aportaciones y el número de años de simulación. Finalmente se indica el nombre de los archivos de topología y el de las aportaciones. El archivo de aportaciones contiene los datos de entrada en cuanto a cantidad de agua se refiere.

Una vez presionamos el botón de "aceptar" la interfaz creará un tapiz en blanco para poder empezar a introducir la topología del modelo.

2. Creación de la topología y el modelo cuantitativo.

El objetivo es modelar la calidad del agua del embalse para ello vamos a crear un modelo que represente una entrada de agua al embalse, la evolución del volumen embalsado y la salida del mismo. Las entradas se introducen con un elemento de aportación. El volumen embalsado lo debe calcular el programa mediante una balance de entradas y salidas. Las salidas del embalse se introducen mediante un elemento de demanda de agua. Por ello deberemos utilizar un elemento aportación, uno de embalse, una toma, una demanda. Además deberemos crear un tramo de río que finaliza en el nudo final del modelo.

2.1. Creación del embalse.

El siguiente proceso consiste en introducir todos los datos del modelo cuantitativo. Se empieza creando el embalse. Para ello se pincha el elemento de la barra de herramientas (figura 7) y se coloca en un punto del tapiz.

Figura 3. Barra de Herramientas.

Al crear el elemento embalse se nos muestra una ficha que tenemos que rellenar con los siguientes datos:

- Volumen inicial de la simulación. Es este caso 5.85 Hm^3.
- Capacidad máxima del embalse. Se introduce en el campo máximo de la pestaña volúmenes. En este caso es de 20 Hm^3. Los volúmenes objetivos y mínimos se pueden mantener en valores nulos.
- Curva batimétrica del embalse. Se introduce en la pestaña de "cotas" y consta de 10 conjuntos de valores cota-superficie-volumen (unidades metros-hectáreas-Hm^3).
- El modelo nos requiere especificar el nudo de vertidos. Elegiremos el mismo embalse. Esto quiere decir que si se producen vertidos porque el embalse está lleno se realizan a pie de embalse.

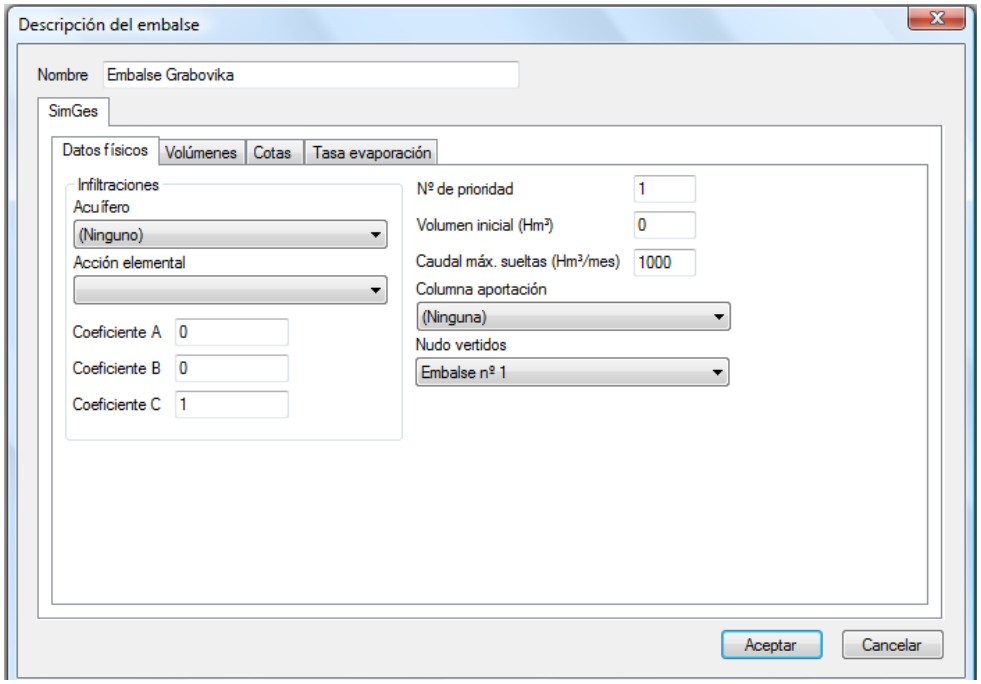


Figura 4. Ficha del embalse. Parte cuantitativa.

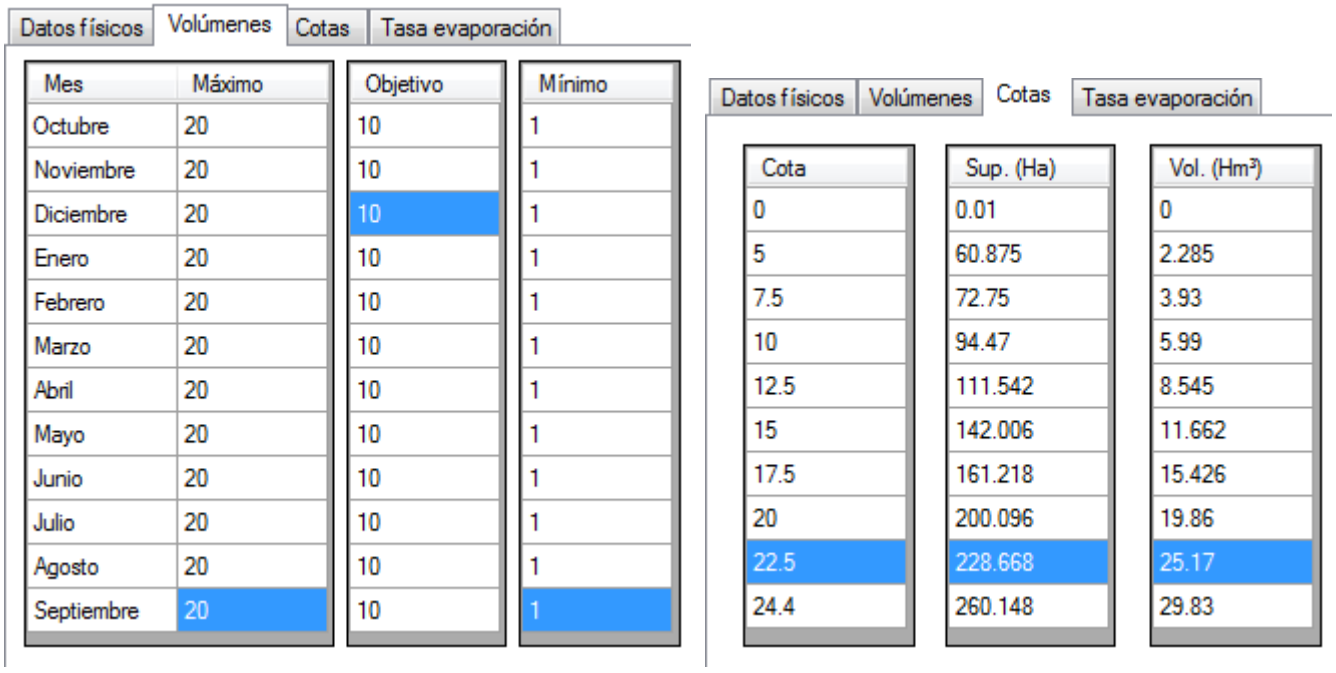


Figura 5. Datos de volúmenes máximos y curvas batimétricas del embalse.

2.2. Creación de las salidas del embalse.

Para crear las salidas del embalse utilizaremos un elemento de demanda que extrae agua del embalse mediante un elemento toma.

Primero crearemos el elemento demanda mediante el icono . La información que debemos proporcionar es el nombre de la demanda, en este caso se le ha llamado “salidas”, y los 12 valores de demanda mensual.

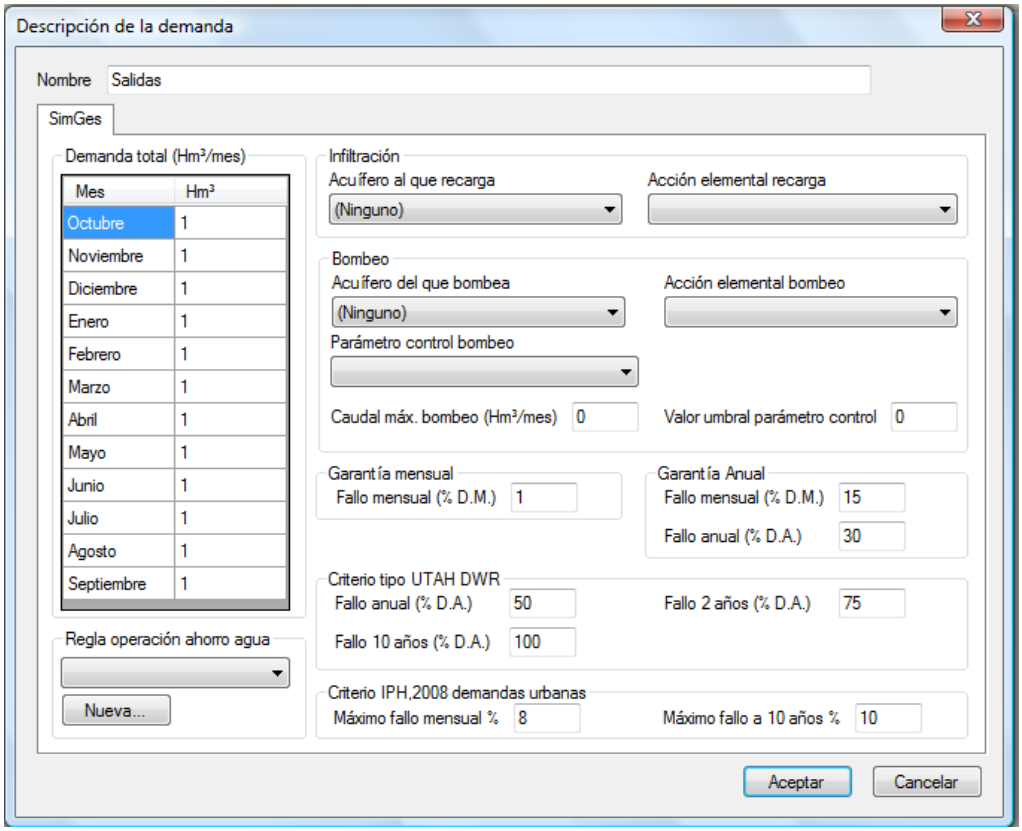


Figura 6. Ficha de la demanda.

La demanda mensual se ha fijado en 1 Hm^3/mes ya que las salidas reales son variables año tras año por lo que vamos a utilizar una opción avanzada de SIMGES consistente en definir la demanda variable mes a mes y año a año mediante un fichero auxiliar. Esto quiere decir que independientemente del valor que pongamos en la ficha de la interfaz el programa cogerá los valores establecidos en el fichero.

Seguidamente creamos una toma, icono de la barra de herramientas que parta del embalse y finaliza en la demanda. En la toma se debe proporcionar los valores de la punta mensual y la dotación anual

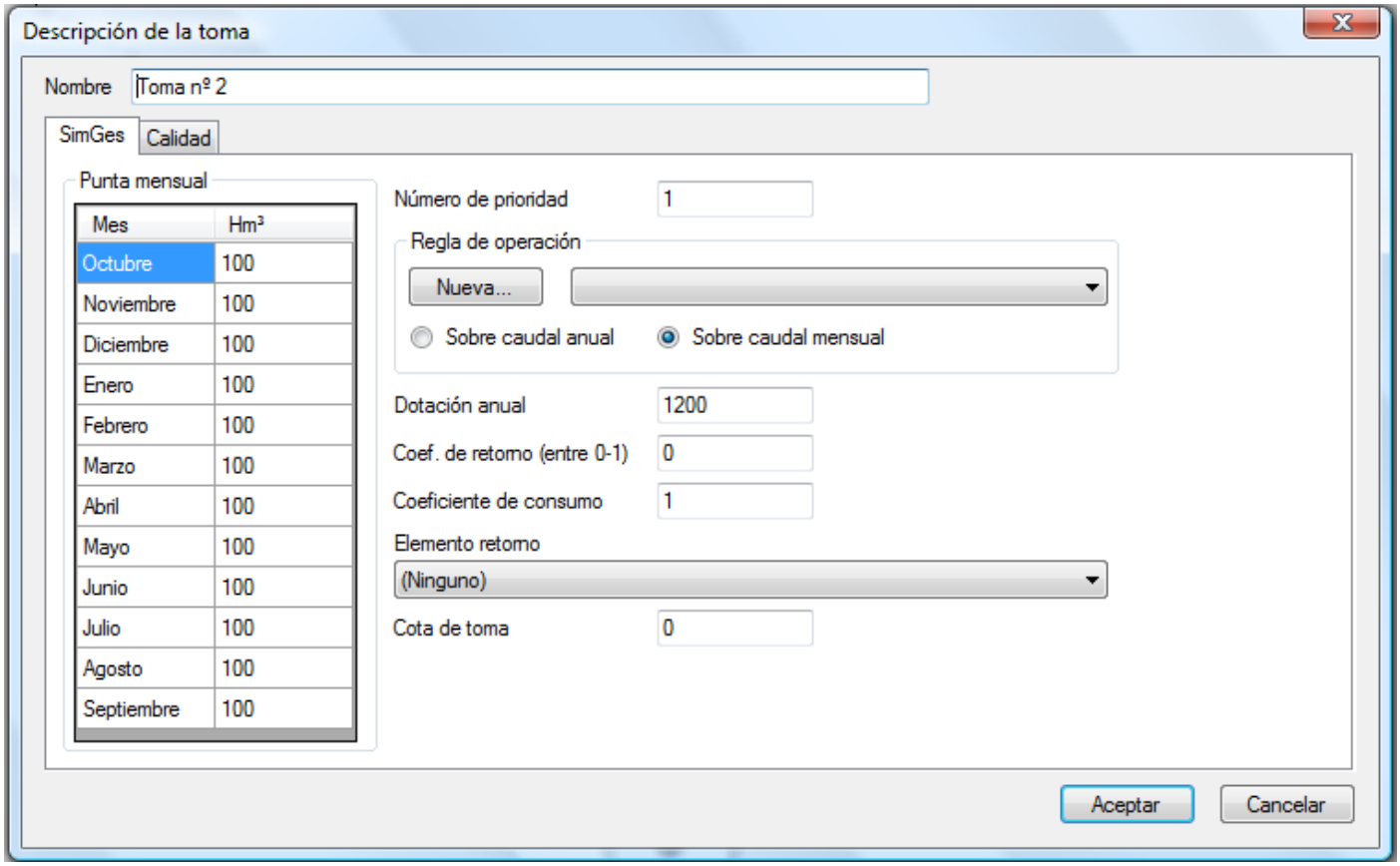


Figura 7. Ficha de la Toma.

En este caso se va a introducir un valor constante de punta mensual de 100 Hm^3/mes y una dotación anual de 1200 Hm^3/año. Estos valores son suficientemente altos para que no supongan una limitación a la demanda (salidas del embalse).

2.3. Entradas al embalse.

Las entradas al embalse se consideran mediante un elemento aportación de la barra de herramientas. Previamente a crear el elemento se debe copiar el archivo "aporta.apo", suministrado con los datos del ejemplo, en la carpeta "escenario001" que se crea cuando se iniciliza el modelo.

Este archivo es de tipo "ascii" y con el formato que se muestra en la figura.

Aporta.apo

```
"APORTACIONES"
"MODELO EMBALSE BICAPA"
"CON MODELACION DEL FITOPLANCTON"
2
"Año"    "Mes"    "Entradas Embalse"
1999     10   0.61
1999     11   1.27
1999     12   1.04
2000     1    1.78
2000     2    1.02
2000     3    1.45
2000     4    0.84
2000     5    0.47
2000     6    0.05
2000     7    0
2000     8    0.01
2000     9    0.35
2000     10   1.57
2000     11   0.96
2000     12   0.99
2001     1    1.08
2001     2    3.14
2001     3    0.92
2001     4    1.19
2001     5    0.81
2001     6    0
```

Figura 8. Formato archivo de aportaciones de SIMGES.

Representa las entradas al embalse en Hm^3/mes.

Una vez copiado este archivo se crea un elemento aportación que llegue al embalse y en la ficha se escoge la columna aportación que contiene los datos de entrada.

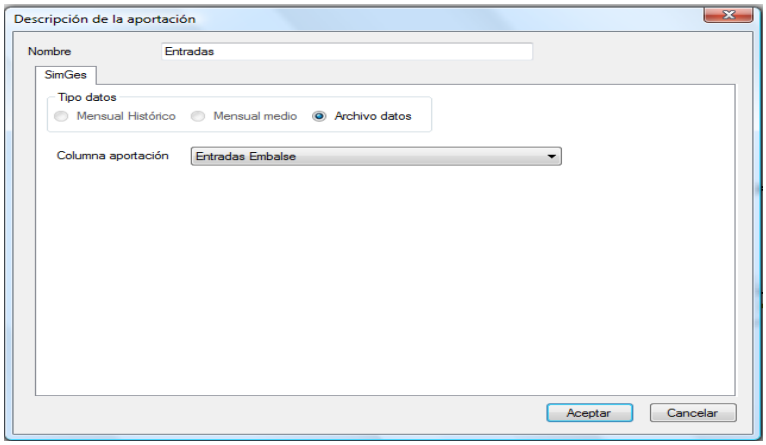


Figura 9. Ficha de aportaciones.

2.4. Finalización del modelo cuantitativo.

Finalmente se crea un nudo y una conducción que parte del embalse y con destino el nudo creado. Esto es necesario porque todo modelo necesita un nudo final.

Una vez creada la conducción seleccionamos el nudo y lo asignamos como nudo final. Esto se hace seleccionando el nudo y accediendo al menú "Editar/Nudo Final/ Asignar nudo final".

El modelo creado tiene el aspecto de la figura siguiente.

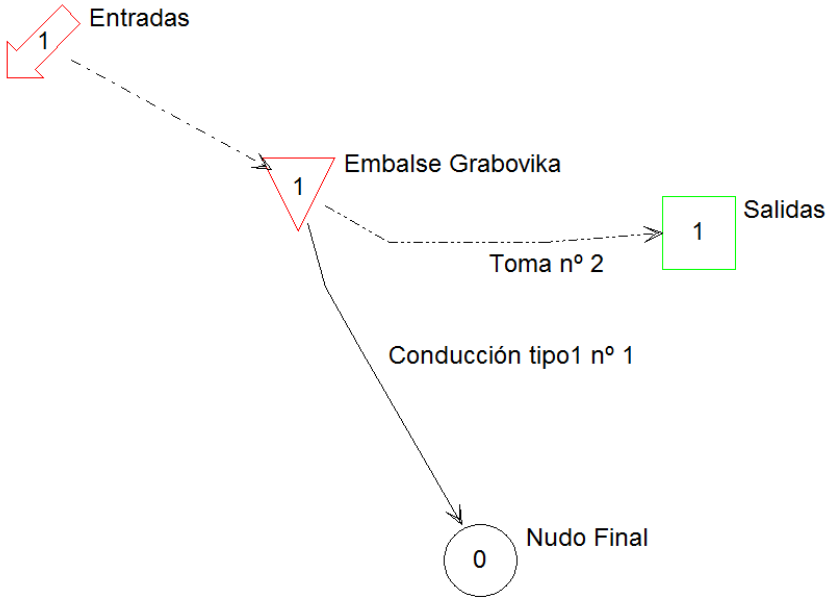


Figura 10. Esquema del modelo.

Antes de realizar la simulación cuantitativa debemos copar los archivos que nos van a permitir hacer de demanda variable a la carpeta de trabajo. Estos archivos se proporcionan con los datos del ejemplo y se llaman: "simges.avz" y "Demanda.fic"

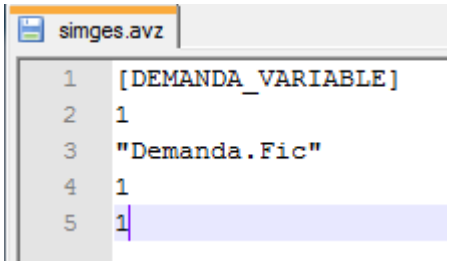


Figura 11. Ejemplo del archivo simges.avz

La descripción de estos archivos se encuentra en el manual técnico de SIMGES aunque para otros casos se puede utilizar los archivos proporcionados como patrón y realizar modificaciones sobre ellos.

Demanda.Fic

```
1  DEMANDAS
2  Embalse Bicapa
3  Modelo con fitoplancton
4  1
5  AÑO MES Demanda Ficticia
6  1999    10  0.63
7  1999    11  0.26
8  1999    12  0.27
9  2000    1   0.27
10 2000    2   0.25
11 2000    3   0.27
12 2000    4   0.26
13 2000    5   0.49
14 2000    6   0.57
15 2000    7   1.97
16 2000    8   2.01
17 2000    9   1.05
18 2000    10  0.78
19 2000    11  0.15
20 2000    12  0.27
21 2001    1   0.27
```

Figura 12. Ejemplo del archivo de demanda variable de SIMGES.

Para la simulación del modelo cuantitativo se accede al menú “Modelos/SIMGES/Ejecutar SIMGES”.

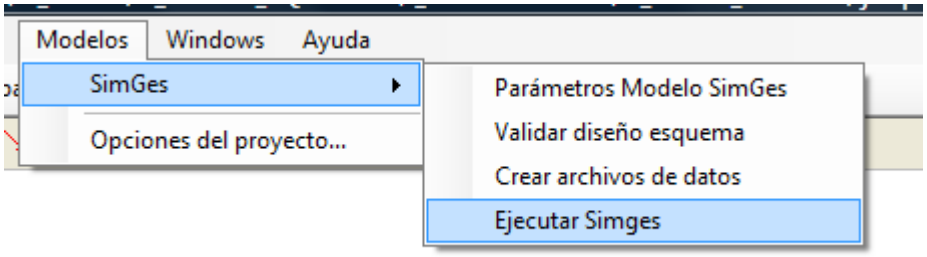


Figura 13. Simulación del modelo SIMGES.

El año de inicio de la simulación es 1999 y el número de años que simulamos es de 6. Si la simulación funciona correctamente veremos una pantalla como la de la siguiente figura.

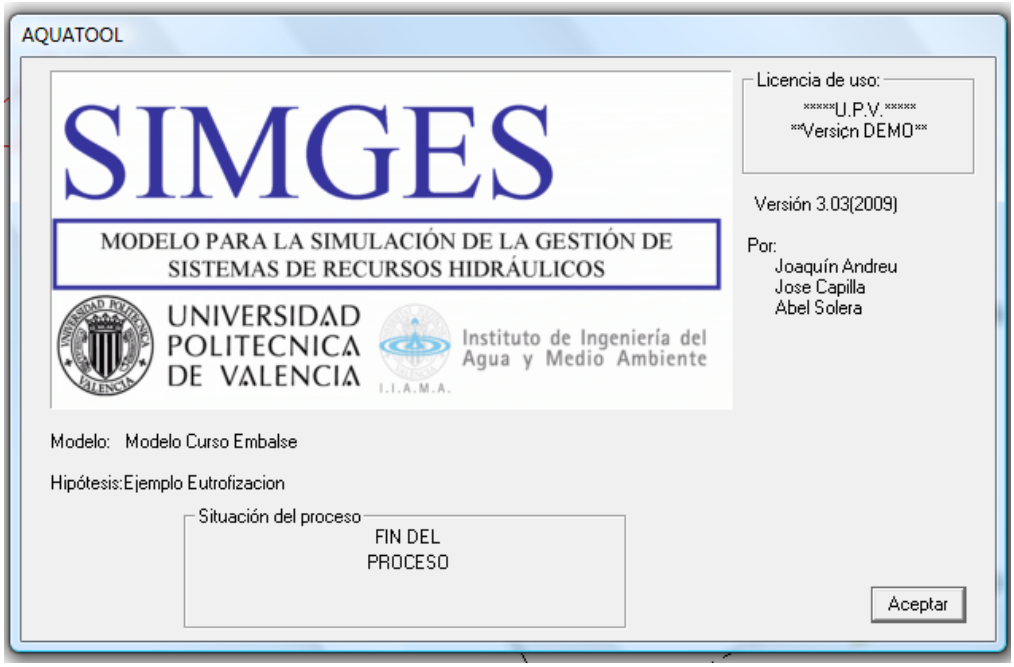


Figura 14. Pantalla de simulación del modelo SIMGES.

En caso de que finalice en con algún error deberemos consultar el archivo de incidencias en el menú "Ver/resultados de SIMGES/Incidencias de la simulación".

Una vez realizada la simulación cuantitativa podremos ver los resultados del modelo en cuanto a volúmenes de embalse, entradas y salidas. Aunque sea una tarea redundante conviene confirmar que todos estos datos son correctos. Para ver resultados marcaremos el modo "gráfico" en la barra de herramientas.

Figura 15. Opción de gráficos.

Seguidamente seleccionamos el embalse mediante un doble clic y la interfaz nos mostrará los resultados de los volúmenes de embalse.

Se debe destacar que es común cometer errores en la estimación de las entradas, debido a su incertidumbre, y que estos hagan que el balance en el embalse no cuadre. El usuario debe asegurarse que el balance entre entradas y salidas que se aporta como dato produce los volúmenes de embalse almacenados que se quieren simular.

3. Creación del modelo de calidad de aguas.

Seguidamente, para indicar que se va a crear un modelo de simulación de la calidad accederemos al menú de "Modelos/ Opciones del proyecto".

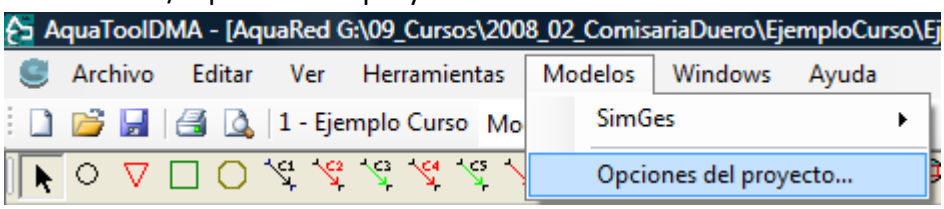


Figura 16. Acceso a las opciones del proyecto.

3.1. Opciones iniciales del proyecto.

Al acceder a la pantalla de opciones de proyecto indicaremos que se quiere realizar un modelo de simulación de la calidad marcando la casilla “Modelar GESCAL”, Figura 17.

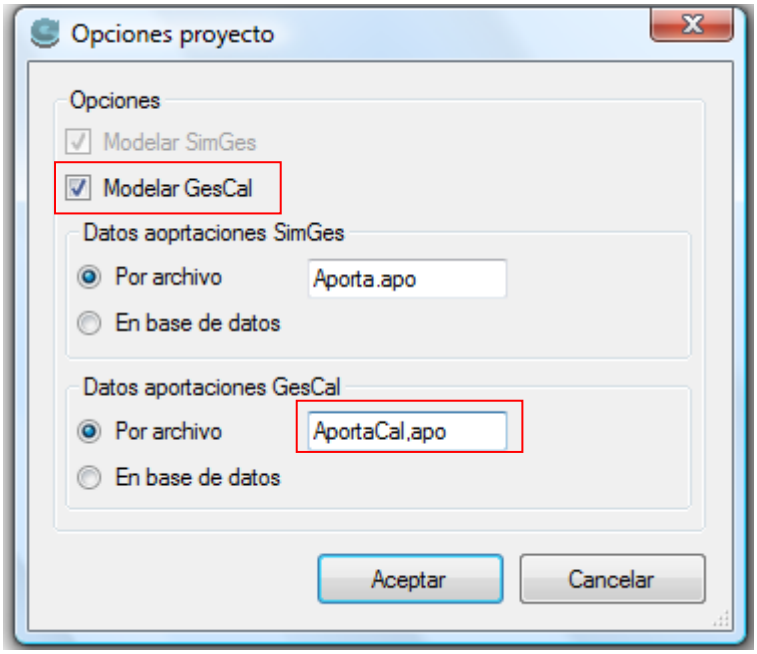


Figura 17. Pantalla de opciones del proyecto.

Al realizar esta selección se accederá a la pantalla de “Opciones del modelo de Calidad”, en donde deberemos indicar los parámetros fundamentales del modelo.

En primer lugar vamos a crear un modelo básico en donde el embalse se va a simular como un tanque completamente mezclado y donde se van a simular dos contaminantes arbitrarios: la conductividad y los sólidos suspendidos. Para ello la pantalla de de opciones del modelo de calidad debe tener el siguiente aspecto.

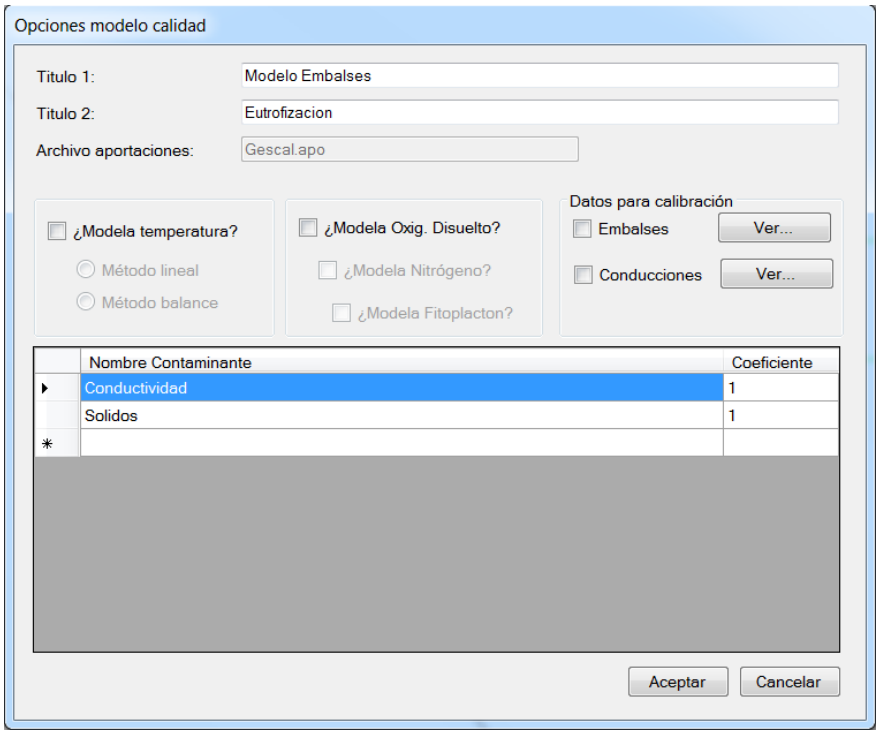


Figura 18. Opciones del modelo GESCAL.

Al presionar el botón de Aceptar de esta pantalla el programa nos devuelve a las Opciones de proyecto en donde indicaremos que las aportaciones de calidad las vamos a pasar por archivo y que este se llama "AportaCal.apo".

Para un caso de contaminante arbitrario, la formulación de degradación implica un parámetro de degradación según una cinética de primer orden y una velocidad de sedimentación.

$$\sum W_i = -K\left(\theta^{T-20}\right)C - \frac{VS}{h}C \qquad \textbf{(1)}$$

Donde: W_i representa el conjunto de procesos que se dan en la masa de agua, K representa la constante de descomposición a 20 ºC (día^{-1}); θ es el coeficiente por corrección de temperatura; la sedimentación se considera mediante un parámetro VS que representa la velocidad de sedimentación del constituyente (m día^{-1}); h es la profundidad de la masa de agua (m); C representa la concentración del contaminante en la masa de agua (mgl^{-1}).

Para modelar la conductividad supondremos ambas constantes nulas considerándolo como conservativo. Los sólidos sólo sedimentan por lo que la constante de degradación se mantendrá nula (*K=0*) y se utilizará la velocidad de sedimentación (*VS*) como parámetro del modelo.

3.2. Datos generales del embalse.

Una vez activado el módulo de calidad editamos el elemento embalse donde podemos comprobar que aparece una nueva pestaña llamada "calidad". Bajo esta pestaña hay un conjunto de subpestañas que nos van permitir ir definido el modelo poco a poco.

En la pestaña de datos generales se define el diferencial de cálculo y un conjunto de variables necesarias para cuando se desarrolla un modelo de dos capas. En principio vamos a dejar todas las variables como están.

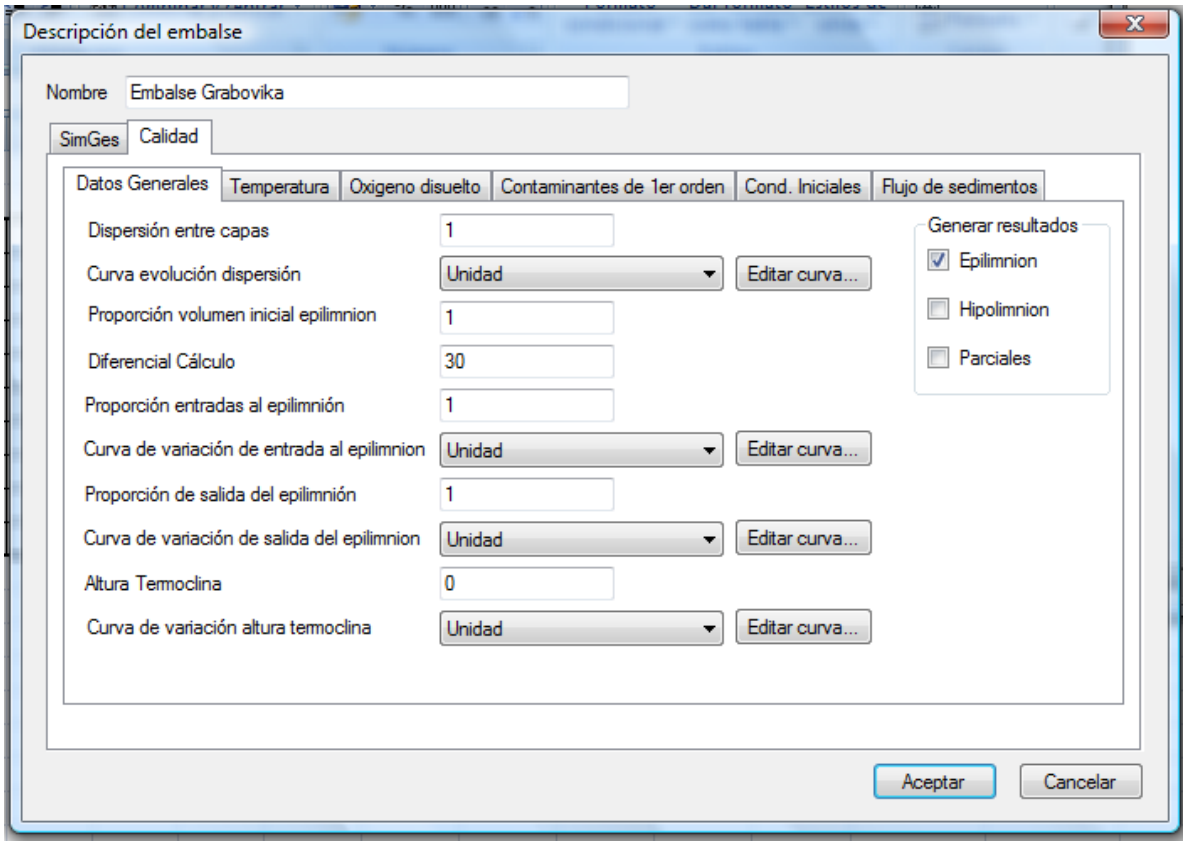


Figura 19. Ficha de datos generales de calidad del embalse.

La siguiente pestaña nos sirve para definir la variación de la temperatura del embalse. Para ello accedemos al gestor de curvas mediante el botón “Editar Curva”.

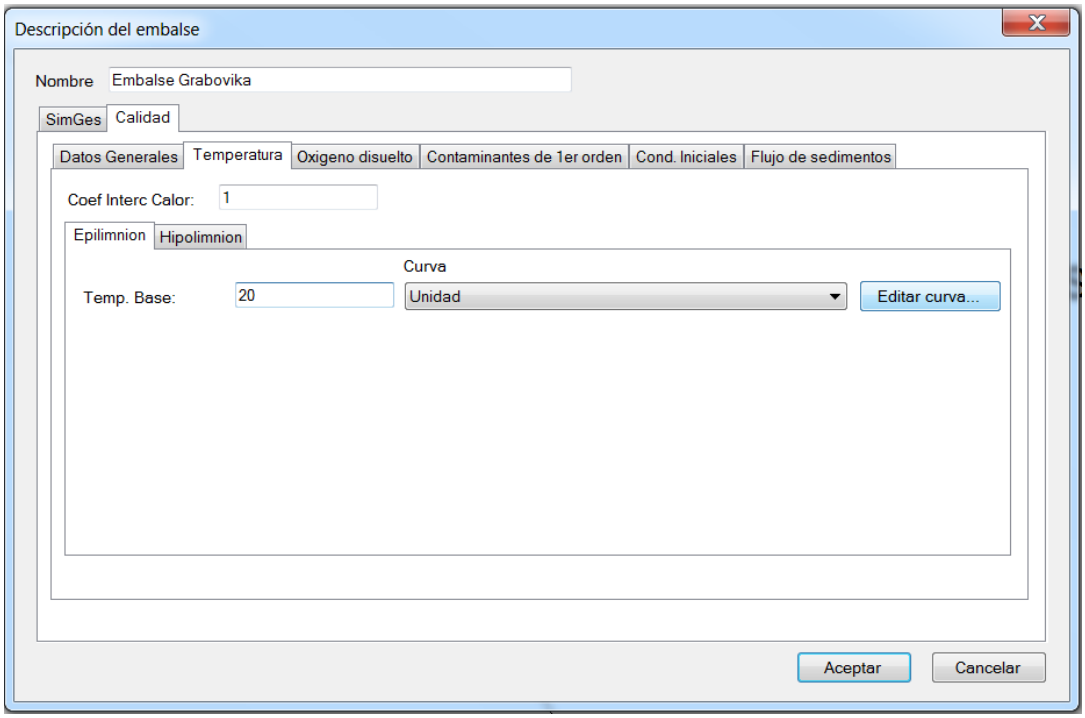


Figura 20. Solapa de temperatura en el embalse.

Una vez en el gestor de curvas crearemos una curva que represente la temperatura del epilimnión con la opción de nueva.

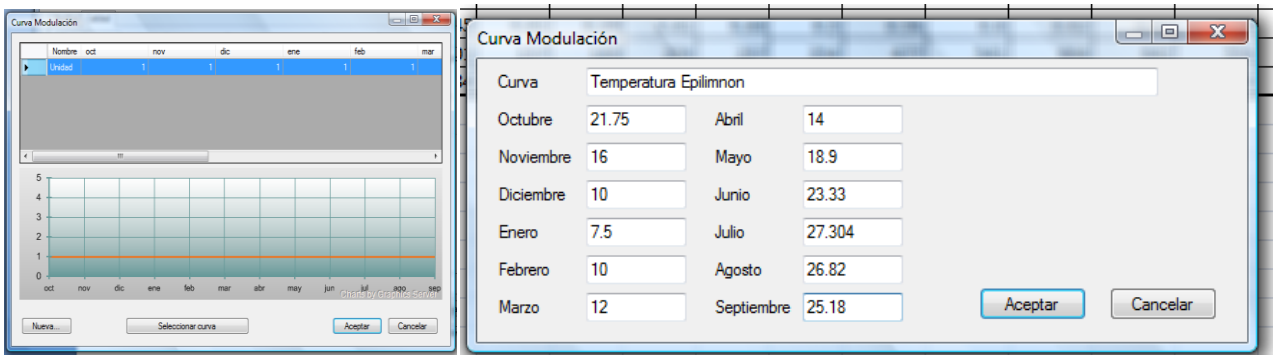


Figura 21. Gestor de curvas.

De vuelta a la ficha del embalse asignaremos la curva que hemos creado y cambiaremos la temperatura Base de 20 a 1.

En caso de querer variar la velocidad de sedimentación de los sólidos suspendidos del embalse en la pestaña “Contaminantes de 1er Orden” encontramos la constante de degradación y la velocidad de sedimentación.

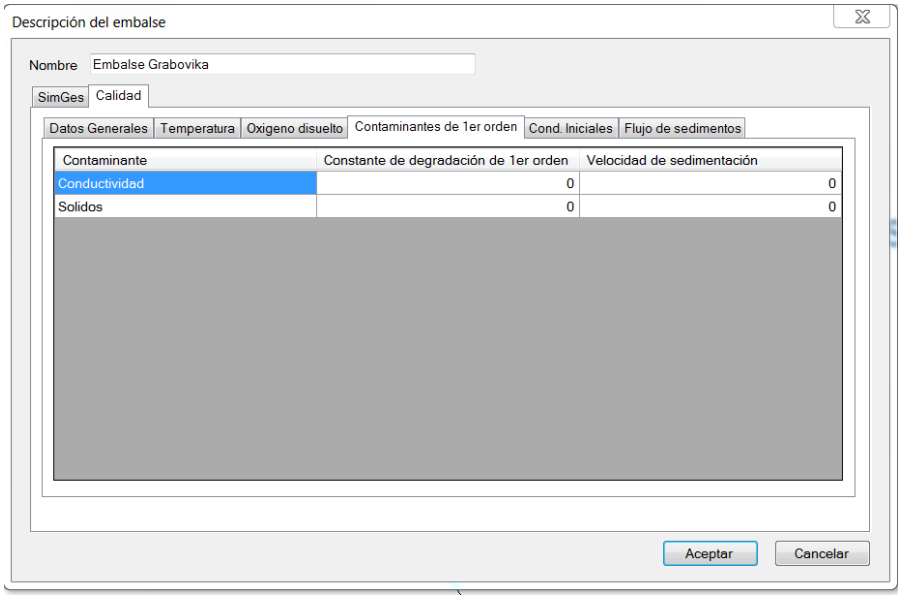


Figura 22. Solapa de parámetros de contaminantes de primer orden.

3.3. Datos generales del embalse.

Una vez definido las características básicas del embalse editamos la ficha de la conducción para definir las características de la simulación de la calidad. En este caso no nos interesa la calidad del agua del río aguas abajo del embalse por lo que se escoge la opción de no simular la conducción.

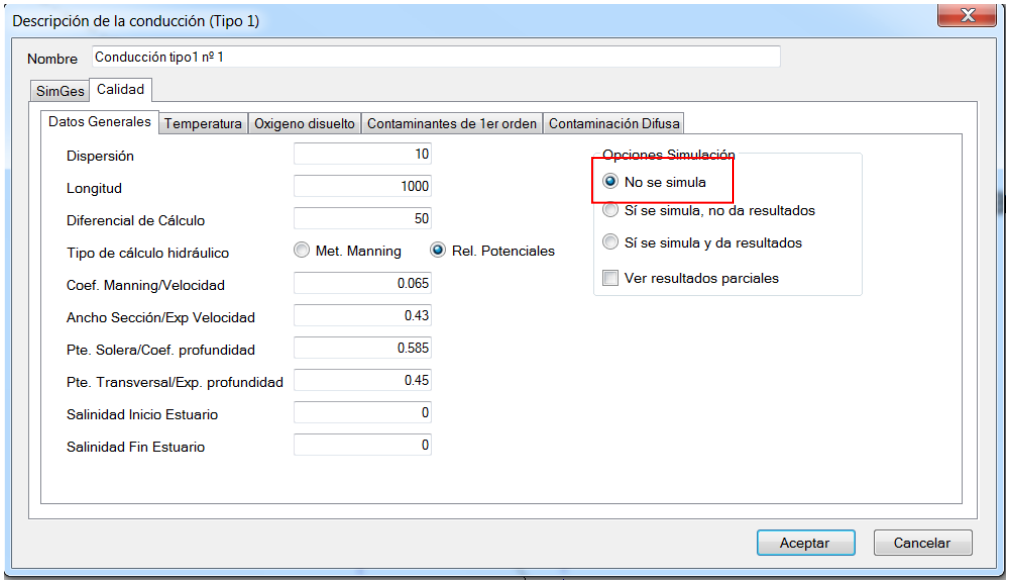


Figura 23. Ficha de calidad de la conducción.

De esta forma además se ahorra tiempo computacional.

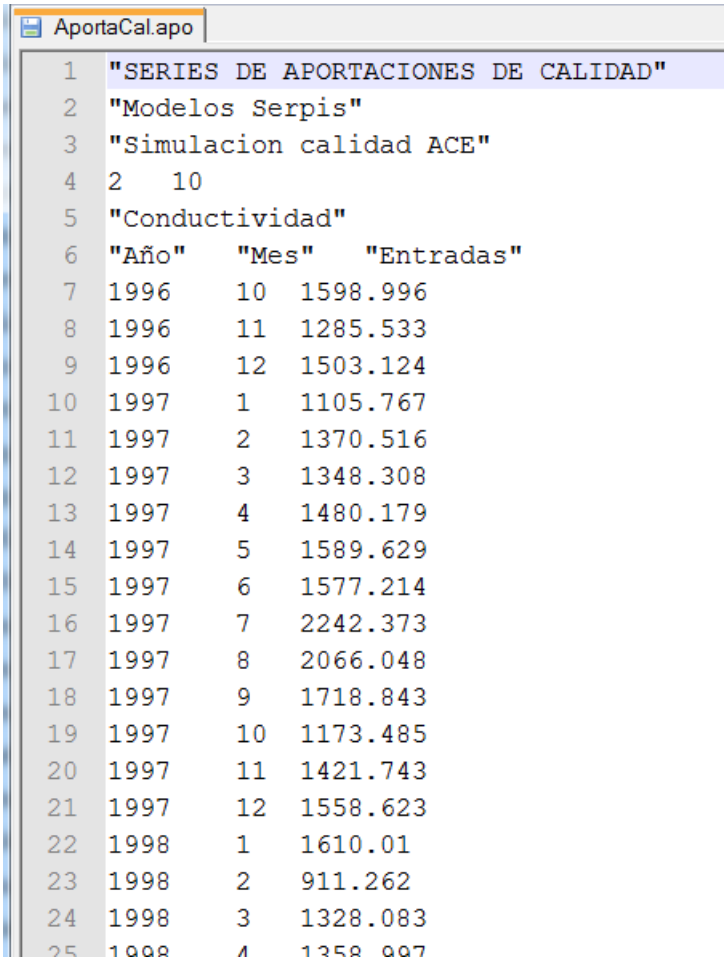
3.4. Primera simulación.

El modelo creado hasta el momento se corresponde a un tanque completamente agitado de dos contaminantes arbitrarios. La ecuación diferencial que se resuelve es la siguiente.

$$V_1 \frac{dC_1}{dt} + C_1 \frac{dV_1}{dt} = Q_{1e}C_e - Q_{1s}C_1 + \sum W_i \qquad \textbf{(2)}$$

Donde V es el volumen del embalse, t es la variable tiempo, Q_e representa el caudal de entrada, Qs el caudal de salida, Ce la concentración de entrada y C_1 la concentración en el embalse. W_i es el conjunto de reacciones que se producen en el embalse que para el caso de contaminantes arbitrarios se ha definido en la ecuación 1.

Antes de realizar la simulación vamos a copiar los archivos de aportaciones y archivos de observados dentro de la carpeta de trabajo. El archivo de aportaciones de calidad presenta para cada momento temporal que se simula las concentraciones de entrada al embalse de cada uno de los constituyentes que se va a simular.

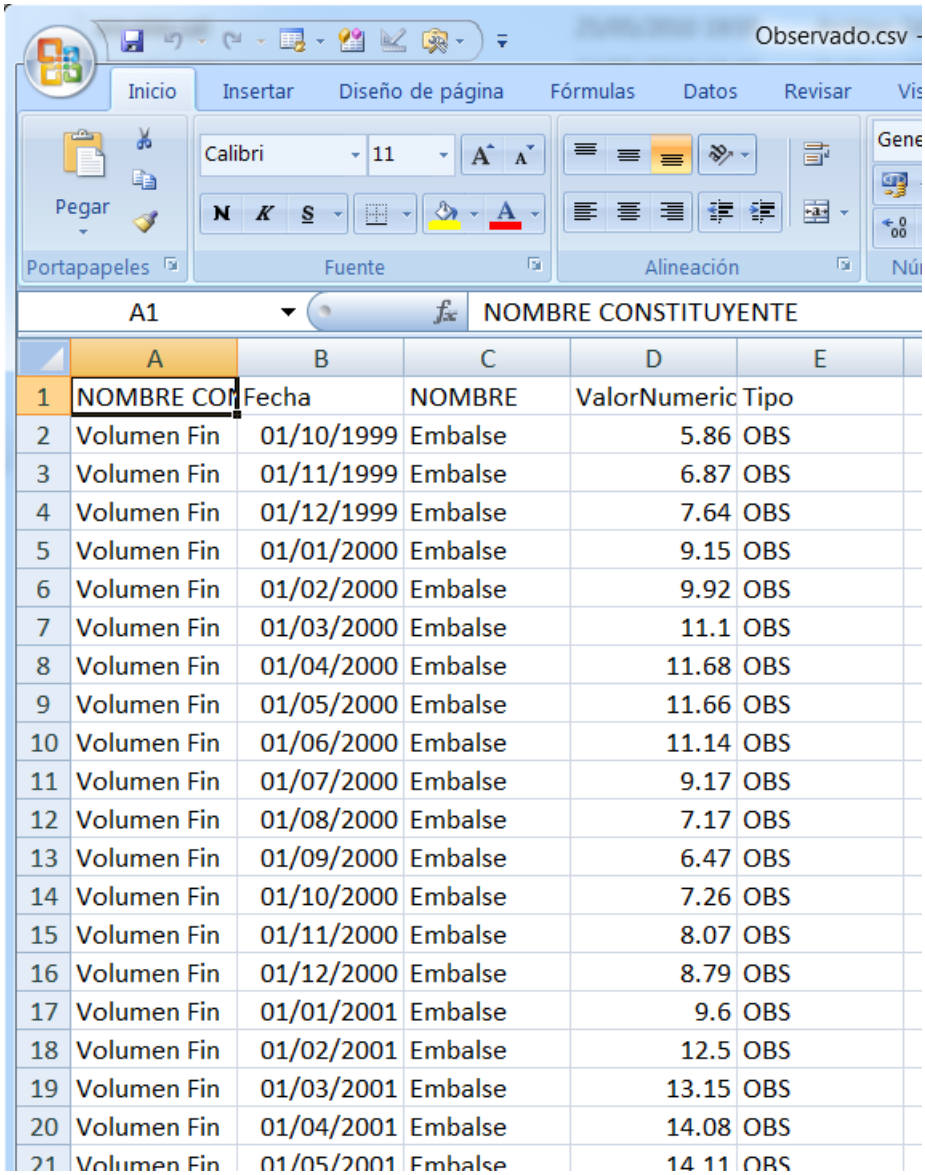

AportaCal.apo

```
"SERIES DE APORTACIONES DE CALIDAD"
"Modelos Serpis"
"Simulacion calidad ACE"
2   10
"Conductividad"
"Año"   "Mes"   "Entradas"
1996    10  1598.996
1996    11  1285.533
1996    12  1503.124
1997    1   1105.767
1997    2   1370.516
1997    3   1348.308
1997    4   1480.179
1997    5   1589.629
1997    6   1577.214
1997    7   2242.373
1997    8   2066.048
1997    9   1718.843
1997    10  1173.485
1997    11  1421.743
1997    12  1558.623
1998    1   1610.01
1998    2   911.262
1998    3   1328.083
1998    4   1358.997
```

Figura 24. Archivo de aportaciones de calidad.

El orden de los constituyentes es importante. En primer lugar se ubicaran los contaminantes de primer orden (también llamados arbitrarios), seguidamente y por este orden DBO5, OD, Norg, NH4, NO3, Chl-a, Porg y PO4 en caso de que se modele un caso completo de eutrofización. Conviene revisar las unidades de entrada según viene en el manual. Por defecto DBO_5 en mgO/l; Norg mgN/l; NH4 en mgNH4/l; NO3 en mgNO3/l; Chl-a en mgChl-a/l; Porg en mgP/l; PO4 en mgPO4/l.

El archivo de datos observados contiene los valores observados y que nos permitirán calibrar los parámetros del modelo. Los valores deben tener las mismas unidades que las variables de entrada. El formato es un archivo de tipo ascii separado por “;” y en el manual de GESCAl se especifica su formato.



	A	B	C	D	E
1	NOMBRE CO	Fecha	NOMBRE	ValorNumeric	Tipo
2	Volumen Fin	01/10/1999	Embalse	5.86	OBS
3	Volumen Fin	01/11/1999	Embalse	6.87	OBS
4	Volumen Fin	01/12/1999	Embalse	7.64	OBS
5	Volumen Fin	01/01/2000	Embalse	9.15	OBS
6	Volumen Fin	01/02/2000	Embalse	9.92	OBS
7	Volumen Fin	01/03/2000	Embalse	11.1	OBS
8	Volumen Fin	01/04/2000	Embalse	11.68	OBS
9	Volumen Fin	01/05/2000	Embalse	11.66	OBS
10	Volumen Fin	01/06/2000	Embalse	11.14	OBS
11	Volumen Fin	01/07/2000	Embalse	9.17	OBS
12	Volumen Fin	01/08/2000	Embalse	7.17	OBS
13	Volumen Fin	01/09/2000	Embalse	6.47	OBS
14	Volumen Fin	01/10/2000	Embalse	7.26	OBS
15	Volumen Fin	01/11/2000	Embalse	8.07	OBS
16	Volumen Fin	01/12/2000	Embalse	8.79	OBS
17	Volumen Fin	01/01/2001	Embalse	9.6	OBS
18	Volumen Fin	01/02/2001	Embalse	12.5	OBS
19	Volumen Fin	01/03/2001	Embalse	13.15	OBS
20	Volumen Fin	01/04/2001	Embalse	14.08	OBS
21	Volumen Fin	01/05/2001	Embalse	14.11	OBS

Figura 25. Archivo de datos observados.

Una vez copiados estos archivos podemos realizar la primera simulación. Para ello nos vamos al menú "Modelos/GESCAL/Ejecutar modelo GESCAL".

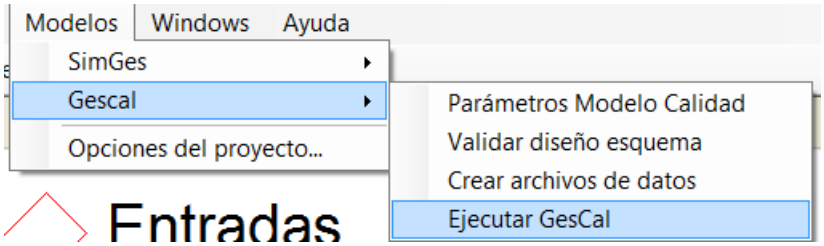


Figura 26. Ejecución del modelo GESCAL.

De esta forma se lanza el modelo en donde se puede ver la siguiente pantalla.

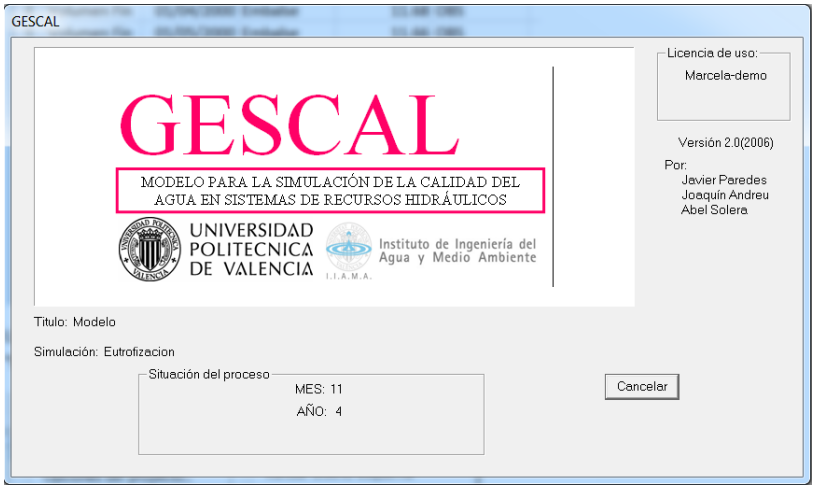


Figura 27. Pantalla de ejecución del programa GESCAL.

En caso de acabar en error se deberá consultar el archivo de incidencias en el menú "Ver/resultados de GESCAL/Incidencias de la simulación". Para consultar los resultados pasamos al modo gráfico al igual que se realiza con la simulación cuantitativa. Los resultados se pueden ver a partir del gestor de gráficos directamente o mediante la exportación de los mismos a un gráfico dinámico de la hoja de cálculo Microsoft Excel. Para ello a partir del gestor de gráficos nos vamos al menú "Utilidades/Gráfico Dinámico de GESCAL/Nuevo". El programa nos pregunta la etiqueta que le queremos poner a los resultados y si tenemos un archivo de observados.

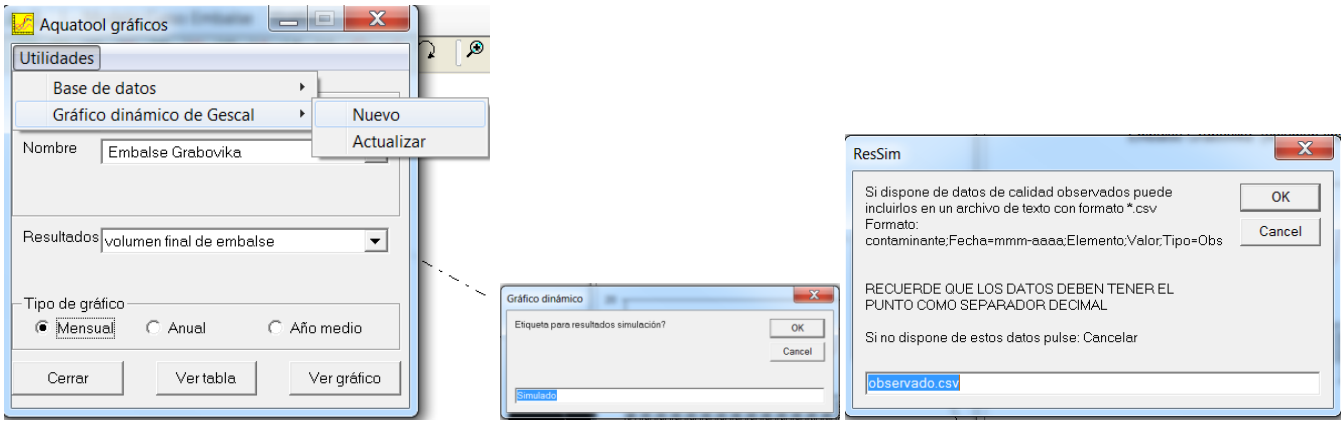


Figura 28. Exportación de resultados a la aplicación de gráfico dinámico.

El gráfico dinámico sirve para hacer filtros entre diferentes para ver diferentes los resultados del modelo y los datos medidos de forma rápida y cómoda. Las siguientes gráficas muestran el volumen de embalse y la conductividad.

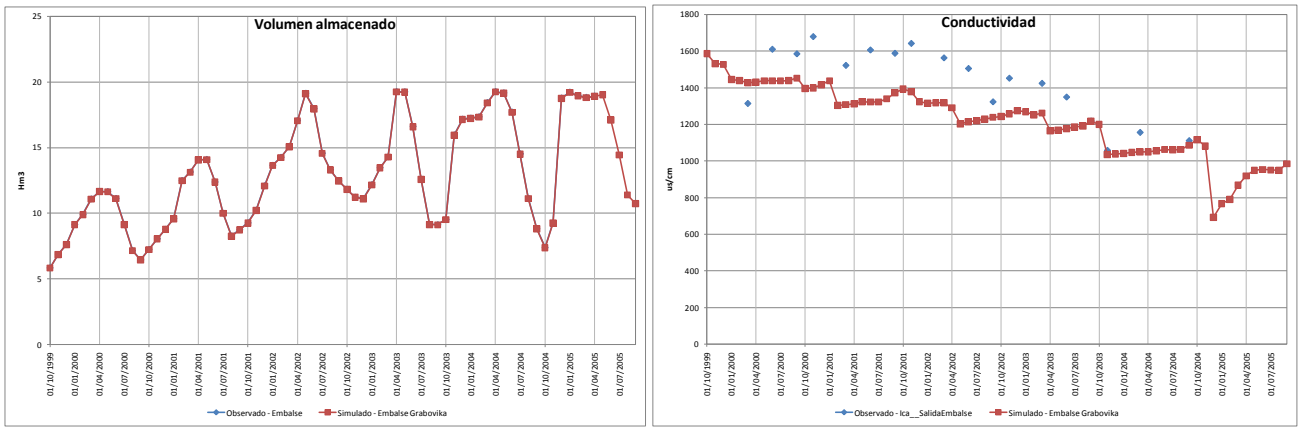
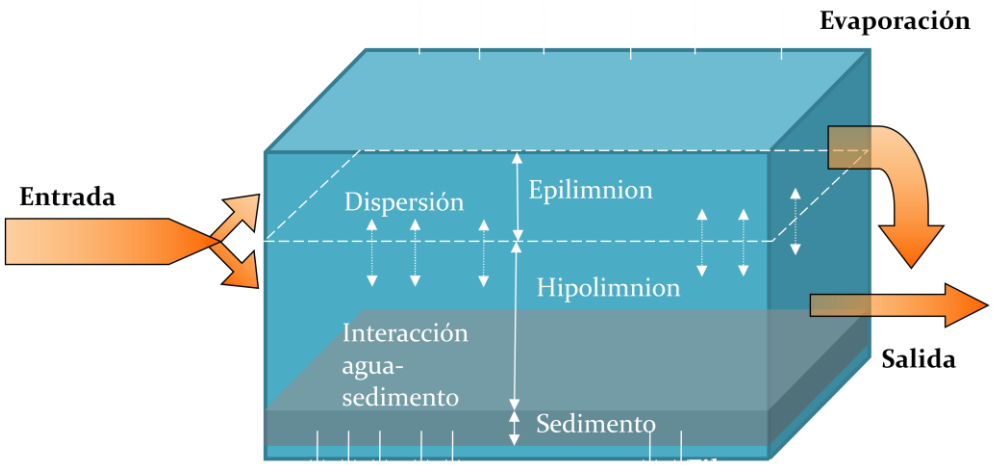


Figura 29. Volumen almacenado y conductividad en el modelo.

3.5. Creación de un modelo de dos capas.

El ciclo de estratificación térmica es uno de los factores más influyentes en la calidad del agua de un embalse. En los embalses localizados en zonas templadas la estratificación suele comenzar en primavera y finalizar en otoño. El modelo GESCAL permite crear un modulo dinámico de dos capas y que estas capas evolucionen con el tiempo. La siguiente figura representa el esquema del modelo que se propone



$$V_1 \frac{dC_1}{dt} + C_1 \frac{dV_1}{dt} + C_{1/2} \frac{dV}{dt} = Q_{1e}C_e - Q_{1s}C_1 + E'_{12}(C_2 - C_1) + \sum W_i \qquad (3)$$

$$V_2 \frac{dC_2}{dt} + C_2 \frac{dV_2}{dt} - C_{1/2} \frac{dV}{dt} = Q_{2e}C_e - Q_{2s}C_2 + E'_{12}(C_1 - C_2) + Sed + \sum W_{i2} \qquad (4)$$

Donde: El subíndice "1" representa el epilimnion o capa superior; el subíndice "2" el hipolimnion o capa inferior; V_1 y V_2 son los volúmenes de las capas (m^3); V es la ganancia o perdida (si es negativo) de volumen del epilimnion sobre el hipolimnion debido al calentamiento o enfriamiento a lo largo del mes (m^3); C_1 y C_2 son las concentraciones de cada capa (M/V); $C_{1/2}$ es la concentración del hipolimnion si el incremento de volumen es negativo y del epilimnion si es positivo (mgl^{-1}); C_e es la concentración del agua de entrada (mgl^{-1}); t representa la variable tiempo; Q_{1e} y Q_{2e} son las entradas de caudal en el intervalo de tiempo (m^3t^{-1}); Q_{1s} y Q_{2s} son las salidas en el intervalo de tiempo (m^3t^{-1}); Sed es el flujo de constituyente desde el sedimento (M/T); W_{i1} y W_{i2} son el conjunto de procesos de degradación o aporte de constituyente en la masa de agua. E'_{12} representa el coeficiente de dispersión entre ambas capas (m^3t^{-1}). El cual se estima de la siguiente forma:

$$E'_{12} = \frac{E_{12}A_{12}}{Z_{12}} \qquad (5)$$

Donde: E_{12} representa la difusión vertical (m^2t^{-1}); A_{12} es el área entre las dos capas (m^2); Z_{12} es la cota de la termoclina (m).

Para crear un modelo que represente el ciclo de estratificación mediante dos capas epilimnion (superior) e hipolimnion (inferior) se deben rellenar los datos de la solapa “Datos Generales” de la ficha de embalse. Estos datos son: Dispersión entre las capas, proporción del volumen inicial epilimnion, Diferencial de cálculo, proporción de entradas al epilimnion, proporción de salidas del epilimnion y altura de termoclina.

Gran parte de estas variables se consideran con un valor base que multiplica a una curva de variación temporal. Por ello previamente se van a crear las siguientes curvas:

CURVAS	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep
Temperatura Epilimnion	21.75	16	10	7.5	10	12	14	18.9	23.33	27.304	26.82	25.18
Temperatura Hipolimnion	21.75	16	10	7.5	8.5	9.5	11	12.53	14.05	14.7	17.97	25.18
Temperatura Aguas Arriba Embalse	15.88	13.55	12.12	10.38	12.36	13.44	14.42	16.33	20.82	20.72	20.9	19.33
Entradas al epilimnion	0	0	1	1	1	1	1	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Salidas del Epilimnion	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Dispersion del embalse	4	4	4	4	4	4	4	0.1	0.1	0.1	0.1	4
Espesor Epilimnion	4	4	4	4	4	4	4	4	4.33	5.25	6.67	4

Tabla 1. Curvas para la modelación en dos capas del embalse.

Al gestor de curvas se puede acceder a partir de cualquier botón de editar curva.

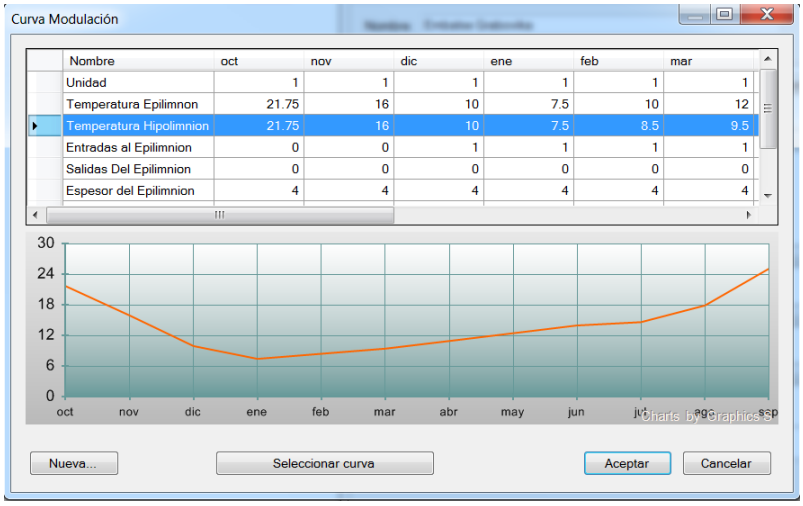


Figura 30. Gestor de curvas con la información necesaria para el modelo de 2 capas.

Una vez creadas las curvas se deben asignar en la ficha del embalse. Y poner el valor patrón.

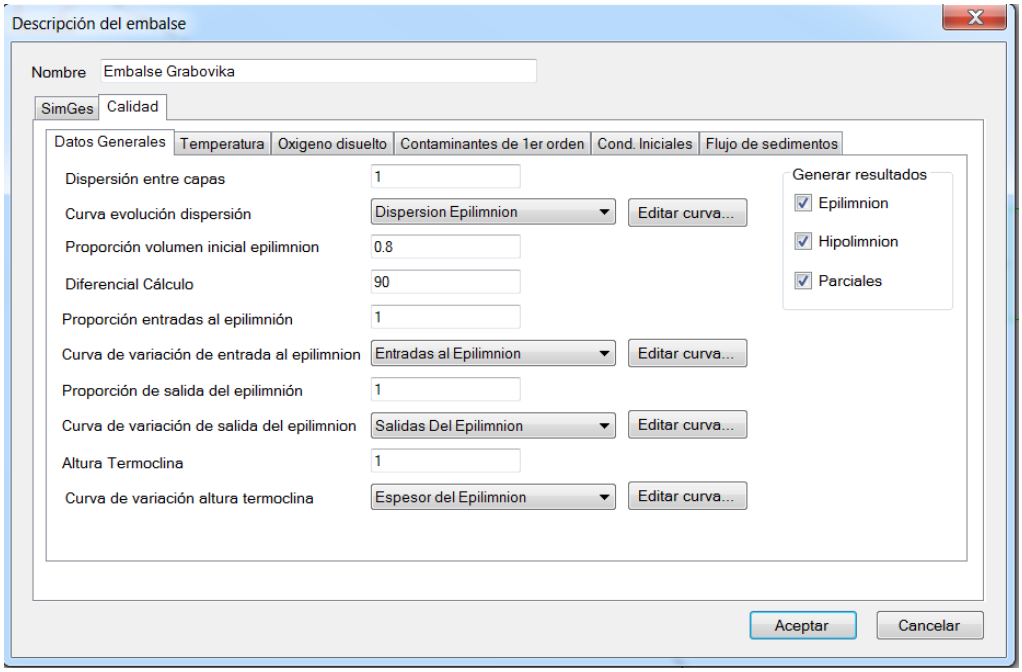


Figura 31. Solapa de datos generales del embalse con los datos para la modelación en dos capas.

La variable que indica al modelo que se van a modelar dos capas es la altura de la termoclina. El ciclo de estratificación térmica basado en una masa de agua completamente mezclada desde finales de otoño hasta principio de primavera puede modelarse de dos formas. La primera es hacer cero la altura de la termoclina en los meses de mezcla completa mediante la curva de variación de la termoclina. La segunda es mantener dos capas en todo momento y aumentar la dispersión de las capas entre los embalses en los meses de mezcla completa. Esta segunda opción es la escogida en este ejemplo.

Las curvas de entrada y salida del epilimnion representan la proporción del agua que sale y entra del epilimnion siendo la restante del hipolimnion.

Como se puede ver en la figura de la ficha se ha ampliado el diferencial de cálculo de 30 a 90. Esto es conveniente cuando se van a desarrollar modelos de eutrofización por las fuertes oscilaciones de algunos componentes.

Por otro lado se han marcado todas las opciones de generación de resultados para así obtener resultados del epilimnion, hipolimnion y parciales que se comentarán posteriormente.

Seguidamente en la solapa de temperatura se incluye la temperatura del hipolimnion como valor base y curva.

Si se vuelve a ejecutar el modelo y se actualiza el gráfico dinámico se puede ver que en este caso se dispone de dos resultados uno para epilimnion y otro para hipolimnion.

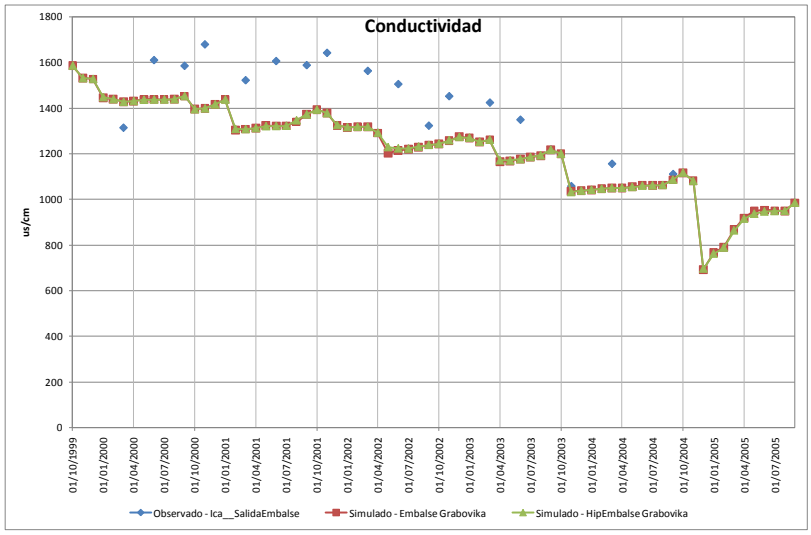


Figura 32. Resultados de la conductividad en el embalse con la modelación en dos capas.

Cada vez que se realiza una simulación no es necesario crear de nuevo el gráfico dinámico. Para actualizarlo desde el gestor de gráficos desde el menú “Utilidades/Gráfico dinámico de GESCAL/Actualizar”.

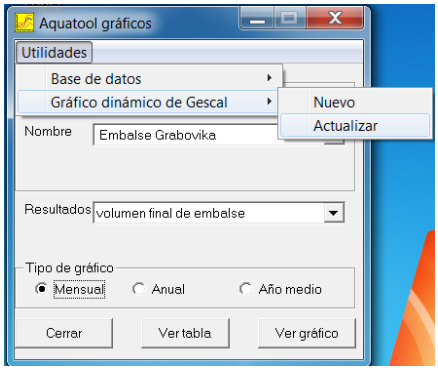


Figura 33. Actualización de resultados en el gráfico dinámico.

Una vez exportados los nuevos resultados se debe actualizar el gráfico dinámico de la Excel para poder ver los nuevos resultados. Nota: si al exportar los resultados cambiamos la etiqueta de “simulados” por otra etiqueta la herramienta creará una nueva serie de resultados. Esta característica es muy útil en el proceso de evaluación de alternativas.

3.6. Creación de la parte físico química y biológica.

Una vez creado el modelo de dos capas para los constituyentes arbitrarios se va a introducir todos los datos necesarios para una modelación completa de un proceso de eutrofización. En primer lugar desde el menú de “Modelos” se accede a las opciones de parámetros del modelo de calidad.

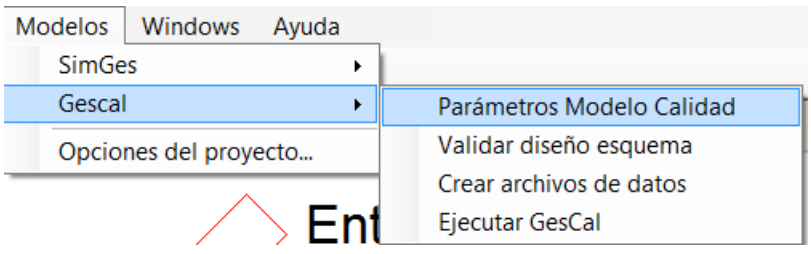


Figura 34. Acceso a los parámetros de calidad.

Una vez en la pantalla de las opciones de simulación se activan las opciones de modelar oxígeno disuelto, ciclo del nitrógeno y fitoplanton como se muestra en la figura.

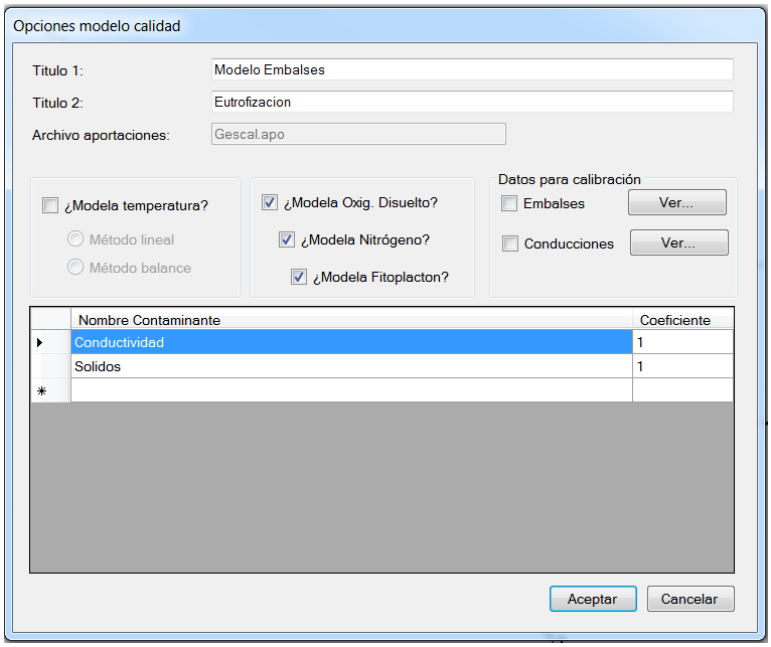


Figura 35. Aumento de las opciones de simulación del modelo de calidad.

Un modelo de estas características simula los siguientes constituyentes: DBO_5, Oxígeno Disuelto, nitrógeno orgánico, amonio, nitratos, fitoplancton (en forma de clorofila- a), fósforo orgánico y fósforo inorgánico. El archivo de aportaciones debe contener las concentraciones para todos estos constituyentes.

Condiciones iniciales

El siguiente paso es introducir las concentraciones iniciales de todos los constituyentes tanto para el epilimnion como para el hipolimnion. Esto se hace desde la ficha del embalse, pestaña calidad, sub pestaña Cond. Iniciales.

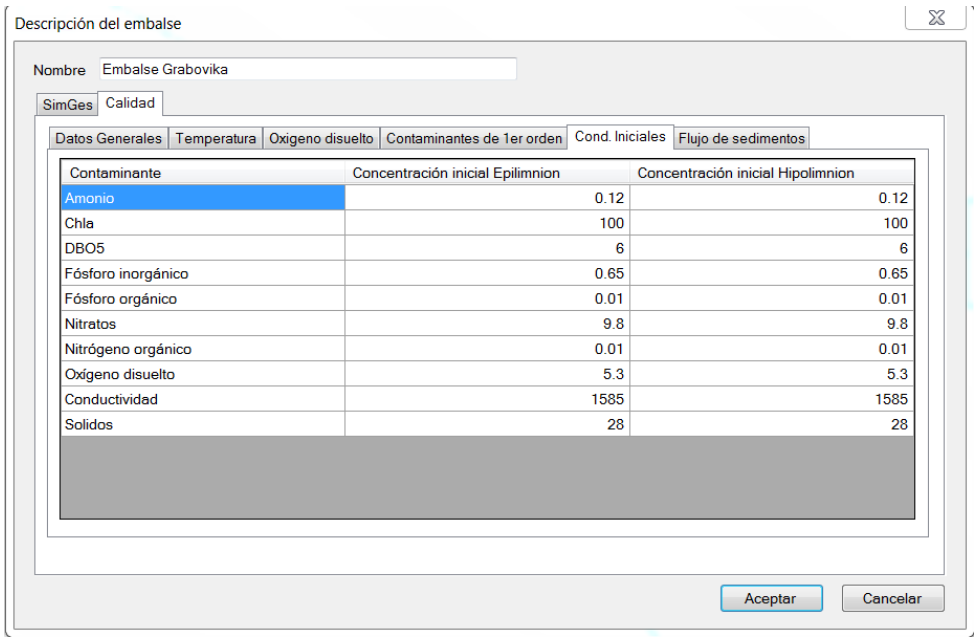


Figura 36. Solapa de condiciones iniciales del embalse.

Como se puede ver en la figura en este ejemplo se ha supuesto que las concentraciones de ambas capas son iguales en todos los constituyentes

Flujos desde sedimentos

En la pestaña de al lado “Flujo de sedimentos” introduciremos los valores de los flujos de los diferentes nutrientes así como el requerimiento de oxígeno disuelto por parte del sedimento. Las unidades son gr/m2d.

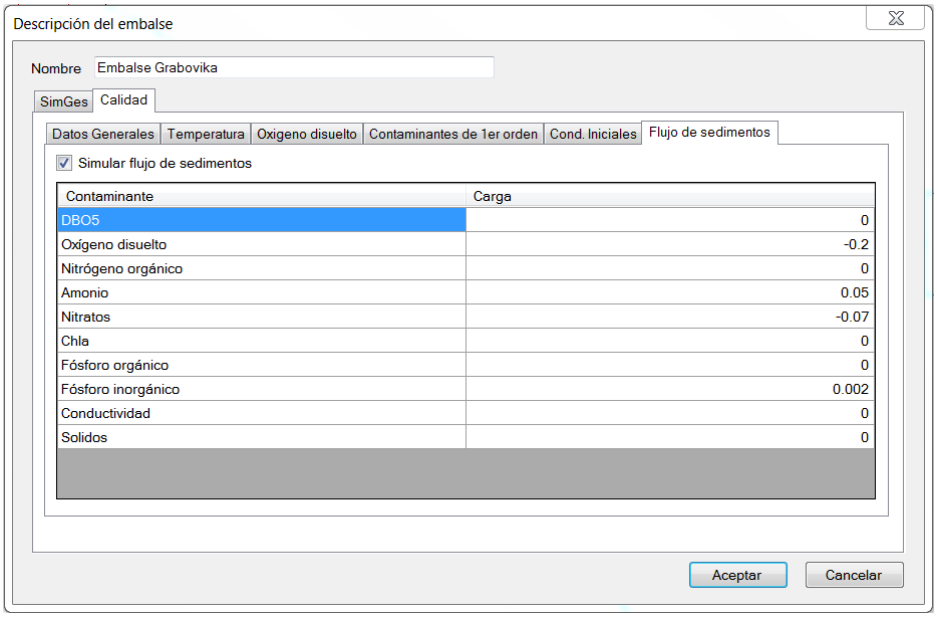


Figura 37. Pestaña de definición de flujos de sedimento del embalse a la columna de agua.

Parámetros y datos meteorológicos

Finalmente en la sub pestaña de oxígeno disuelto se encuentran diferentes datos y parámetros relacionados con la componente físico – química y la biológica del modelo. En la parte de la derecha de la ficha se encuentran las curvas de radiación y del fotoperiodo. El fotoperiodo se introduce en tanto por uno y la radiación en layer/d. Con el botón “Editar curva” se accede al gestor de curvas y se crean ambas curvas con los siguientes valores:

CURVAS	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep
Fotoperiodo en embalse	0.45	0.41	0.39	0.41	0.44	0.5	0.56	0.6	0.62	0.61	0.56	0.51
Radiación en embalse	301	157	165	206	287	354	477	541	664	642	556	422

Tabla 2. Curvas de datos meteorológicos.

Una vez creadas las curvas y asignadas se varía el valor patrón de ambas variables. En la lista de parámetros que se encuentra en el lado izquierdo de la ficha. Seguidamente se introducen los valores de los parámetros del modelo. En general estos parámetros se obtienen por un proceso de calibración que en el caso de eutrofización suele ser bastante costoso.

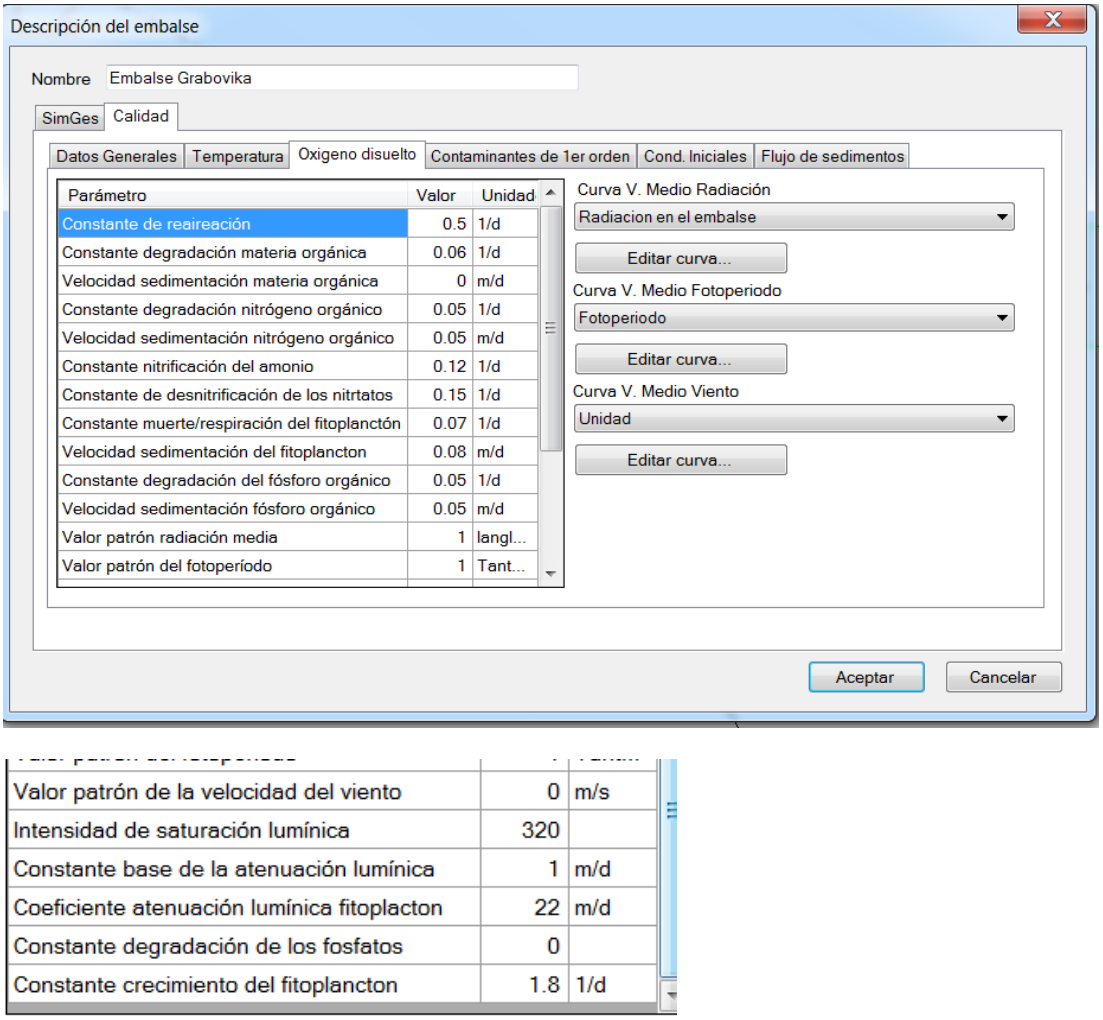
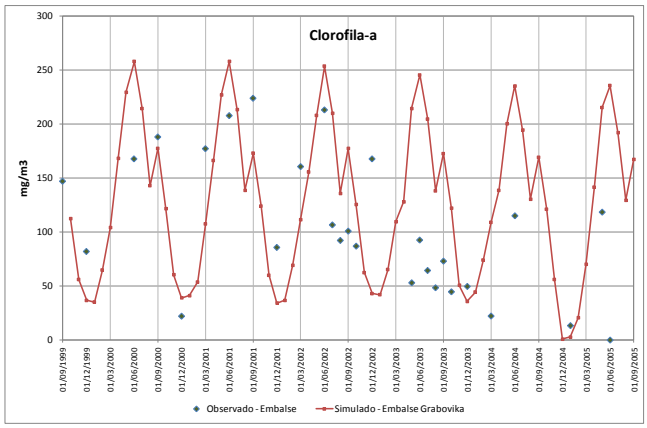
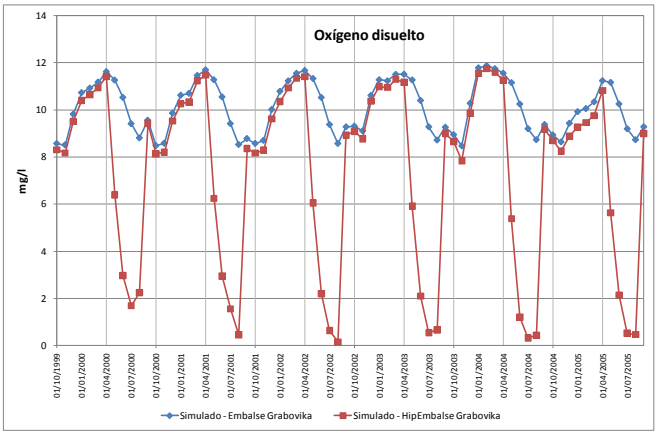


Figura 38. Pestaña del embalse donde se introducen los parámetros calibrados.

Con todos estos valores introducidos ya se puede realizar una simulación de todas las variables. Algunos resultados de la misma se recogen en los siguientes gráficos. Previamente se debe exportar los resultados al gráfico dinámico y actualizar el mismo.





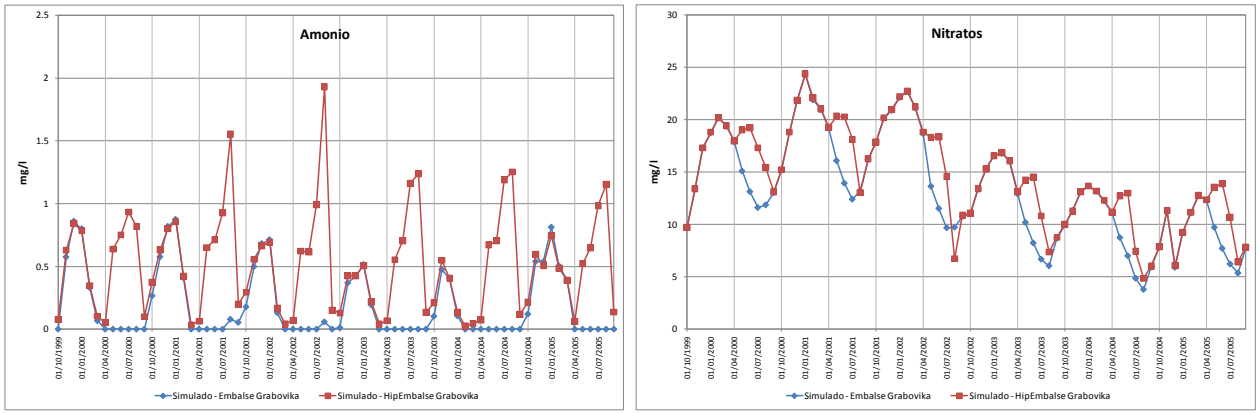


Figura 39. Resultados del epilimnion e hipolimnion del embalse para varios constituyentes: Clorofila-a. oxígeno disuelto, amonio y nitratos.

En este ejemplo se ha incluido un archivo de observados simplemente con el fin de saber cómo manejar el mismo. El objetivo de esta práctica no es un ejercicio de calibración de este tipo de modelos sino del uso de la herramienta.

3.6. Aspectos avanzados.

Los resultados del gráfico dinámico representan la concentración del constituyente a final de mes. El modelo GESCAL permite generar resultados para cada momento temporal estimado por el diferencial de cálculo. Para ello en la ficha del embalse, pestaña Calidad, sub pestaña de datos generales debe estar marcada la opción de resultados parciales. Si ese es el caso al realizar la simulación el programa genera una archivo en la carpeta de trabajo llamado emb.csv. Este es un archivo que contiene para cada diferencial de cálculo un conjunto de variables como el volumen del epilimnion, volumen del hipolimnion, altura de la termoclina, concentraciones de los diferentes constituyentes, etc.

Por ejemplo un gráfico de la clorofila en el epilimnion pasa a tener el siguiente aspecto.

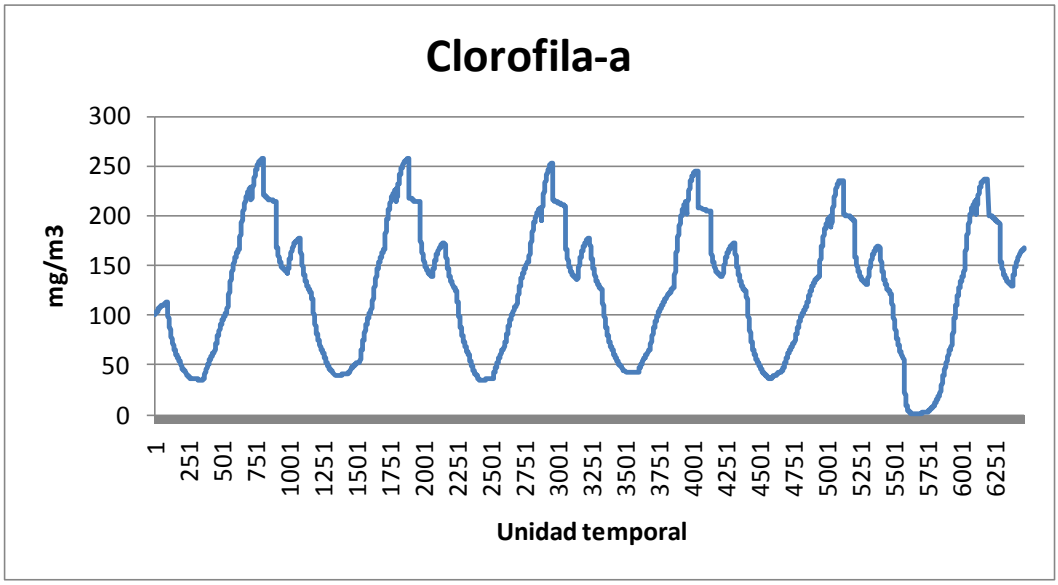


Figura 40. Resultados de detalle de la simulación de la Clorofila-a.

El diferencial de cálculo me define el número de veces en que se fragmenta el mes para la resolución numérica. Por ejemplo un diferencial de cálculo de 30 se está trabajando con una escala temporal diaria y un diferencial de 60 con una escala de medio día.

Entre otras opciones avanzadas se pueden encontrar el uso de curvas temporales variables de año a año, parámetros variables de forma temporalmente y resultados de balance de masas. La primera opción

permite al usuario que las curvas temporales de las diferentes variables no sean fijan entre los años sino que puedan variar de uno a otro. La segunda permite que las variables tengan una variabilidad temporal. No se debe utilizar esta opción para realizar la corrección por temperatura de los parámetros ya que esta se realiza de forma interna en el programa. Si que puede ser conveniente utilizar esta opción en caso de un cambio de tratamiento en las depuradoras de aguas arriba o en los focos de contaminación. Finalmente la opción de balances de masas permite al usuario establecer cuáles son los procesos que son más influyentes en las diferentes variables simuladas. La forma de activación de estas opciones avanzadas se encuentra en el manual del programa.

4. Simulaciones.

Una vez hemos creado el modelo con los parámetros calibrados se dispone de una poderosa herramienta para predecir posibles situaciones futuras. Frente al problema de un embalse eutrofizado se puede pensar en variar las condiciones de entrada, salida o procesos en el embalse. Una opción es la variación de las concentraciones de entrada porque se vaya a aplicar algún tratamiento de reducción nutrientes en las depuradoras de aguas arriba o algunas actividades de reducción de carga difusa. También puede considerarse posible variación de la hidrología de entrada o del régimen de salidas. Finalmente se puede analizar la posible variación, mediante técnicas químicas o mecánicas, de algún proceso de los que se producen en la masa de agua: rotura de la termoclina, oxigenación, eliminación de nutrientes, etc.

Para ilustrar un ejemplo de simulación se van a reducir las concentraciones de entrada de fósforo a 0.5 mg/l de forma continua. Para ello modificamos el archivo de aportaciones de entrada de concentraciones Gescal.apo en la parte de fosfatos. Una vez hemos realizado el cambio volvemos a simular el modelo GESCAL.

Nota 1: si modificamos algo relacionado con los volúmenes de agua, como el régimen de salidas o las entradas, debemos simular tanto el modelo SIMGES como el GESCAL para que los cambios tengan efecto. Si sólo realizamos cambios en la parte de calidad simularemos el modelo GESCAL.

Nota 2: para gestionar los archivos de aportaciones se puede utilizar una utilidad disponible en la página web denominada “gestor de aportaciones.xls”. Esta herramienta ayuda a manejar los datos de los archivos de aportaciones tanto de SIMGES como de GESCAL.

Una vez realizada la simulación desde el gestor de gráficos le decimos que queremos actualizar los resultados. En la etiqueta de simulación le pondremos una etiqueta representativa de la simulación actual, en este caso “Con tratamiento”.

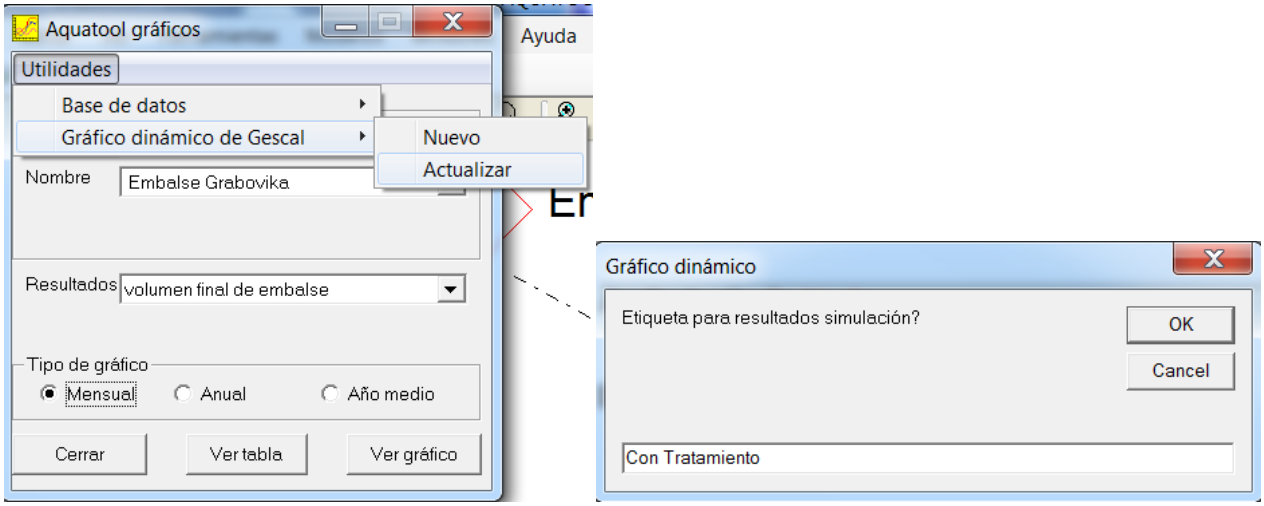


Figura 41. Actualización del gráfico de resultados para comparativa de simulaciones.

De esta forma podemos comparar los resultados de la situación actual y la situación con tratamiento.

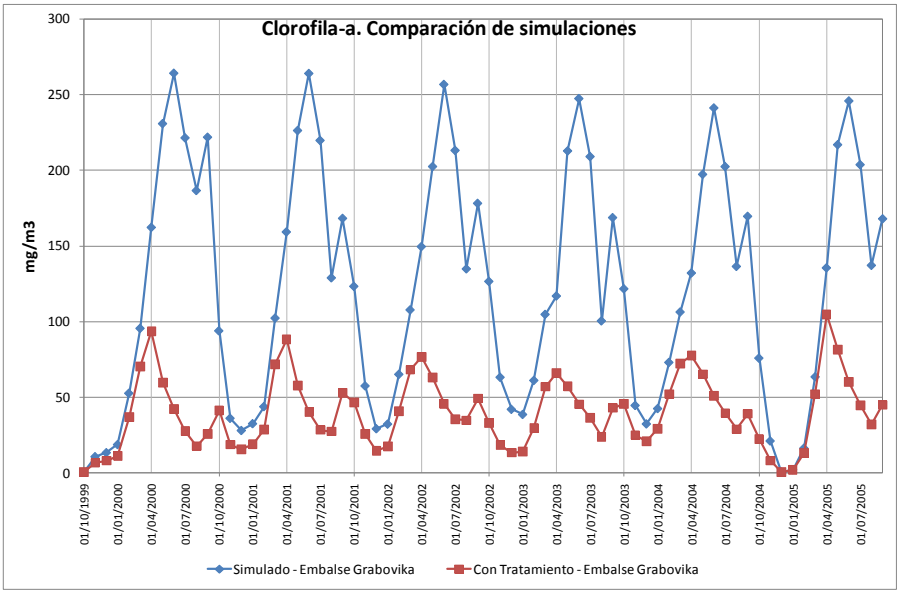


Figura 42. Comparativa de la situación actual y con eliminación de fósforo.

En la figura se puede ver como mejora significativamente él grado trófico del embalse, representado por la concentración de clorofila, debido a una reducción del fósforo de entrada al embalse.

ANEJO I.1. DATOS DE VOLÚMENES Y CONCENTRACIONES.

Datos seguimiento de embalse.

FECHA	Entrada(hm3)	Salida(hm3)	Embalsado(hm3)
01-oct-99	0.61	0.63	5.86
01-nov-99	1.23	0.26	6.87
01-dic-99	1.05	0.27	7.64
01-ene-00	1.78	0.27	9.15
01-feb-00	1.02	0.25	9.92
01-mar-00	1.47	0.27	11.1
01-abr-00	0.85	0.26	11.68
01-may-00	0.5	0.49	11.66
01-jun-00	0.12	0.57	11.14
01-jul-00	0.05	1.97	9.17
01-ago-00	0.13	2.01	7.17
01-sep-00	0.31	1.05	6.47
01-oct-00	1.54	0.78	7.26
01-nov-00	0.96	0.15	8.07
01-dic-00	0.99	0.27	8.79
01-ene-01	1.07	0.27	9.6
01-feb-01	3.09	0.24	12.5
01-mar-01	0.98	0.27	13.15
01-abr-01	1.2	0.26	14.08
01-may-01	0.87	0.78	14.11
01-jun-01	0.1	1.72	12.39
01-jul-01	0.1	2.41	10.02
01-ago-01	0.68	2.41	8.28
01-sep-01	1.1	0.71	8.76
01-oct-01	0.79	0.27	9.28
01-nov-01	1.23	0.26	10.25
01-dic-01	2.08	0.27	12.1
01-ene-02	1.87	0.27	13.66
01-feb-02	0.85	0.24	14.27
01-mar-02	1.06	0.27	15.08
01-abr-02	2.29	0.26	17.07
01-may-02	3.85	1.76	19.14
01-jun-02	0.16	1.16	17.98
01-jul-02	0.24	3.62	14.58
01-ago-02	1.56	2.98	13.32
01-sep-02	0.76	1.45	12.47
01-oct-02	0.39	0.89	11.84
01-nov-02	0.61	1.3	11.23
01-dic-02	0.58	0.65	11.13
01-ene-03	1.32	0.27	12.18
01-feb-03	1.48	0.24	13.48
01-mar-03	1.14	0.27	14.3

01-abr-03	5.32	0.33	19.27
01-may-03	1.79	1.77	19.25
01-jun-03	0.97	3.37	16.62
01-jul-03	0.46	4.53	12.6
01-ago-03	0.35	3.64	9.17
01-sep-03	0.75	0.82	9.14
01-oct-03	1.08	0.75	9.54
01-nov-03	6.97	0.56	15.97
01-dic-03	1.55	0.31	17.17
01-ene-04	0.37	0.27	17.25
01-feb-04	0.43	0.25	17.35
01-mar-04	1.31	0.27	18.43
01-abr-04	4.04	3.07	19.27
01-may-04	3.74	3.89	19.17
01-jun-04	0.85	2.15	17.71
01-jul-04	0.22	3.21	14.53
01-ago-04	0.21	3.43	11.14
01-sep-04	0.59	2.89	8.84
01-oct-04	0.61	2.07	7.4
01-nov-04	2.3	0.49	9.28
01-dic-04	33.53	24.06	18.78
01-ene-05	4.7	4.15	19.23
01-feb-05	5.19	5.57	18.97
01-mar-05	5.07	5.16	18.83
01-abr-05	3.02	2.85	18.93
01-may-05	1.11	1.02	19.04
01-jun-05	0.48	2.25	17.13
01-jul-05	0.08	2.66	14.47
01-ago-05	0.1	3.05	11.42
01-sep-05	0.74	1.43	10.77
01-oct-05	0.38	0.5	10.61
01-nov-05	1.05	0.63	11.07
01-dic-05	0.8	0.27	11.6

Datos de concentraciones de las aportaciones

		Conductividad		Sólidos		DBO5		Oxígeno Disuelto		Nitrógeno Orgánico	
Año	Mes	Cabecera	Mosu	Cabecera	Mosu	Cabecera	Mosu	Cabecera	Mosu	Cabecera	Mosu
1996	10	1599.0	600	48.6	5	17.6	2	4.1	8	1.6	0.1
1996	11	1285.5	600	32.9	5	12.4	2	6.7	8	1.2	0.1
1996	12	1503.1	600	41.3	5	15.7	2	6.1	8	1.5	0.1
1997	1	1105.8	600	24.9	5	9.7	2	9.0	8	1.0	0.1
1997	2	1370.5	600	36.1	5	13.7	2	6.6	8	1.3	0.1
1997	3	1348.3	600	36.0	5	13.6	2	6.5	8	1.3	0.1
1997	4	1480.2	600	43.2	5	15.8	2	5.2	8	1.4	0.1
1997	5	1589.6	600	51.1	5	18.1	2	4.0	8	1.6	0.1
1997	6	1577.2	600	64.1	5	21.0	2	3.1	8	1.9	0.1
1997	7	2242.4	600	104.4	5	34.7	2	0.5	8	3.1	0.1
1997	8	2066.0	600	70.3	5	25.1	2	0.9	8	2.2	0.1
1997	9	1718.8	600	47.3	5	18.0	2	2.6	8	1.7	0.1

1997	10	1173.5	600	29.1	5	10.9	2	6.7	8	1.1	0.1
1997	11	1421.7	600	40.4	5	14.9	2	5.9	8	1.4	0.1
1997	12	1558.6	600	45.8	5	17.0	2	5.6	8	1.6	0.1
1998	1	1610.0	600	47.9	5	17.9	2	5.9	8	1.6	0.1
1998	2	911.3	600	17.2	5	6.7	2	9.1	8	0.6	0.1
1998	3	1328.1	600	35.7	5	13.4	2	6.5	8	1.3	0.1
1998	4	1359.0	600	37.6	5	13.9	2	6.0	8	1.3	0.1
1998	5	1477.0	600	44.5	5	16.0	2	4.6	8	1.5	0.1
1998	6	1522.0	600	60.8	5	19.9	2	3.4	8	1.8	0.1
1998	7	1576.3	600	64.1	5	21.0	2	3.1	8	1.9	0.1
1998	8	1602.9	600	65.6	5	21.4	2	2.9	8	2.0	0.1
1998	9	1575.6	600	53.3	5	18.4	2	3.4	8	1.6	0.1
1998	10	1616.3	600	56.4	5	19.4	2	4.0	8	1.7	0.1
1998	11	1266.6	600	33.0	5	12.4	2	7.0	8	1.2	0.1
1998	12	1073.5	600	23.9	5	9.3	2	8.4	8	0.9	0.1
1999	1	1261.5	600	31.9	5	12.2	2	8.0	8	1.2	0.1
1999	2	1347.5	600	35.9	5	13.5	2	6.6	8	1.3	0.1
1999	3	1314.4	600	35.1	5	13.2	2	6.6	8	1.3	0.1
1999	4	1116.5	600	26.2	5	9.9	2	7.5	8	1.0	0.1
1999	5	919.5	600	17.6	5	6.8	2	7.9	8	0.6	0.1
1999	6	1218.5	600	36.9	5	12.6	2	5.0	8	1.1	0.1
1999	7	1372.3	600	51.3	5	16.8	2	4.3	8	1.5	0.1
1999	8	1297.8	600	41.9	5	14.2	2	4.6	8	1.2	0.1
1999	9	1428.4	600	42.2	5	15.1	2	4.0	8	1.4	0.1
1999	10	1481.0	600	47.1	5	16.6	2	4.6	8	1.5	0.1
1999	11	1501.6	600	45.2	5	16.4	2	5.3	8	1.5	0.1
1999	12	1567.4	600	46.7	5	17.3	2	5.4	8	1.6	0.1
2000	1	1241.0	600	30.9	5	11.9	2	8.2	8	1.2	0.1
2000	2	1112.0	600	25.5	5	9.8	2	8.1	8	1.0	0.1
2000	3	1376.0	600	38.2	5	14.2	2	6.2	8	1.3	0.1
2000	4	923.4	600	17.9	5	6.9	2	8.5	8	0.7	0.1
2000	5	1178.5	600	28.8	5	10.8	2	6.5	8	1.1	0.1
2000	6	1334.7	600	46.6	5	15.5	2	4.4	8	1.4	0.1
2000	7	1442.6	600	56.0	5	18.4	2	3.9	8	1.7	0.1
2000	8	1493.1	600	59.1	5	19.3	2	3.5	8	1.8	0.1
2000	9	1498.5	600	47.4	5	16.6	2	3.7	8	1.5	0.1
2000	10	1073.0	600	24.6	5	9.3	2	7.2	8	0.9	0.1
2000	11	811.0	600	13.4	5	5.2	2	9.2	8	0.5	0.1
2000	12	1091.2	600	24.6	5	9.5	2	8.3	8	1.0	0.1
2001	1	1227.6	600	30.5	5	11.7	2	8.1	8	1.2	0.1
2001	2	1285.0	600	33.2	5	12.6	2	6.9	8	1.2	0.1
2001	3	1088.3	600	25.0	5	9.5	2	7.8	8	0.9	0.1
2001	4	1055.0	600	23.5	5	9.0	2	7.7	8	0.9	0.1
2001	5	1072.8	600	24.0	5	9.2	2	7.1	8	0.9	0.1
2001	6	1222.1	600	37.9	5	12.8	2	5.0	8	1.1	0.1
2001	7	1346.1	600	50.2	5	16.5	2	4.4	8	1.5	0.1
2001	8	1395.9	600	53.2	5	17.4	2	4.1	8	1.6	0.1
2001	9	1471.0	600	46.8	5	16.3	2	3.9	8	1.4	0.1
2001	10	1489.9	600	48.6	5	17.0	2	4.6	8	1.5	0.1
2001	11	975.0	600	20.1	5	7.8	2	8.6	8	0.8	0.1
2001	12	664.1	600	7.5	5	2.9	2	9.3	8	0.2	0.1

2002	1	1012.5	600	21.4	5	8.4	2	9.1	8	0.8	0.1
2002	2	867.9	600	15.4	5	6.0	2	9.1	8	0.6	0.1
2002	3	1114.8	600	26.1	5	9.9	2	7.7	8	1.0	0.1
2002	4	1216.3	600	31.0	5	11.6	2	6.7	8	1.1	0.1
2002	5	1334.9	600	37.2	5	13.6	2	5.3	8	1.3	0.1
2002	6	1365.0	600	51.3	5	16.8	2	4.2	8	1.5	0.1
2002	7	1410.9	600	54.1	5	17.7	2	4.0	8	1.6	0.1
2002	8	1445.4	600	56.2	5	18.4	2	3.8	8	1.7	0.1
2002	9	1471.7	600	47.2	5	16.4	2	3.9	8	1.4	0.1

		Amonio		Nitratos		Chla		Fósforo Orgánico		Fósforo Inorgánico	
Año	Mes	Cabecera	Mosu	Cabecera	Mosu	Cabecera	Mosu	Cabecera	Mosu	Cabecera	Mosu
1996	10	9.9	0.1	21.4	2	1.159	0.5	0.01	0.001	5.069	0.001
1996	11	7.2	0.1	15.4	2	0.825	0.5	0.009	0.001	3.618	0.001
1996	12	9.6	0.1	18.7	2	0.975	0.5	0.011	0.001	4.755	0.001
1997	1	5.7	0.1	11.1	2	0.428	0.5	0.008	0.001	2.691	0.001
1997	2	8.2	0.1	16.4	2	0.746	0.5	0.009	0.001	4.036	0.001
1997	3	7.9	0.1	15.9	2	0.66	0.5	0.01	0.001	3.898	0.001
1997	4	9.0	0.1	18.5	2	0.585	0.5	0.01	0.001	4.499	0.001
1997	5	9.8	0.1	20.3	2	0.551	0.5	0.01	0.001	4.856	0.001
1997	6	9.9	0.1	14.3	2	0.364	0.5	0.01	0.001	4.117	0.001
1997	7	16.7	0.1	20.4	2	0.612	0.5	0.015	0.001	6.918	0.001
1997	8	13.7	0.1	32.3	2	0.884	0.5	0.014	0.001	7.464	0.001
1997	9	10.8	0.1	27.2	2	1.129	0.5	0.012	0.001	5.899	0.001
1997	10	6.0	0.1	13.3	2	0.54	0.5	0.008	0.001	2.958	0.001
1997	11	8.5	0.1	17.1	2	0.952	0.5	0.01	0.001	4.229	0.001
1997	12	10.1	0.1	19.1	2	0.999	0.5	0.011	0.001	4.93	0.001
1998	1	10.8	0.1	19.4	2	1.009	0.5	0.011	0.001	5.204	0.001
1998	2	3.5	0.1	8.1	2	0.235	0.5	0.005	0.001	1.651	0.001
1998	3	7.7	0.1	15.4	2	0.63	0.5	0.009	0.001	3.764	0.001
1998	4	7.9	0.1	16.2	2	0.499	0.5	0.009	0.001	3.899	0.001
1998	5	8.8	0.1	18.6	2	0.503	0.5	0.009	0.001	4.37	0.001
1998	6	9.4	0.1	13.7	2	0.343	0.5	0.009	0.001	3.884	0.001
1998	7	9.9	0.1	14.2	2	0.365	0.5	0.01	0.001	4.113	0.001
1998	8	10.2	0.1	14.6	2	0.384	0.5	0.01	0.001	4.228	0.001
1998	9	9.4	0.1	19.9	2	0.735	0.5	0.009	0.001	4.611	0.001
1998	10	10.1	0.1	19.0	2	0.944	0.5	0.01	0.001	4.796	0.001
1998	11	7.1	0.1	14.4	2	0.702	0.5	0.009	0.001	3.474	0.001
1998	12	5.2	0.1	10.9	2	0.411	0.5	0.007	0.001	2.499	0.001
1999	1	7.3	0.1	13.6	2	0.597	0.5	0.009	0.001	3.473	0.001
1999	2	7.9	0.1	15.8	2	0.696	0.5	0.009	0.001	3.875	0.001
1999	3	7.6	0.1	15.2	2	0.613	0.5	0.009	0.001	3.694	0.001
1999	4	5.6	0.1	12.0	2	0.335	0.5	0.008	0.001	2.708	0.001
1999	5	3.5	0.1	9.0	2	0.19	0.5	0.005	0.001	1.684	0.001
1999	6	6.0	0.1	13.6	2	0.265	0.5	0.007	0.001	2.912	0.001
1999	7	7.8	0.1	12.6	2	0.289	0.5	0.008	0.001	3.279	0.001
1999	8	6.8	0.1	14.6	2	0.336	0.5	0.007	0.001	3.233	0.001
1999	9	8.0	0.1	18.9	2	0.687	0.5	0.008	0.001	4.091	0.001
1999	10	8.8	0.1	17.8	2	0.869	0.5	0.009	0.001	4.284	0.001
1999	11	9.3	0.1	18.4	2	1.07	0.5	0.01	0.001	4.568	0.001

1999	12	10.1	0.1	19.3	2	1.007	0.5	0.011	0.001	4.944	0.001
2000	1	7.1	0.1	13.3	2	0.561	0.5	0.009	0.001	3.372	0.001
2000	2	5.6	0.1	11.7	2	0.433	0.5	0.007	0.001	2.691	0.001
2000	3	8.1	0.1	16.2	2	0.678	0.5	0.009	0.001	3.988	0.001
2000	4	3.6	0.1	8.5	2	0.203	0.5	0.006	0.001	1.715	0.001
2000	5	6.0	0.1	13.6	2	0.347	0.5	0.008	0.001	2.997	0.001
2000	6	7.3	0.1	13.7	2	0.285	0.5	0.007	0.001	3.253	0.001
2000	7	8.6	0.1	12.9	2	0.315	0.5	0.009	0.001	3.55	0.001
2000	8	9.1	0.1	13.4	2	0.342	0.5	0.009	0.001	3.762	0.001
2000	9	8.7	0.1	19.5	2	0.718	0.5	0.009	0.001	4.345	0.001
2000	10	5.0	0.1	11.6	2	0.427	0.5	0.007	0.001	2.455	0.001
2000	11	2.4	0.1	6.6	2	0.16	0.5	0.004	0.001	1.125	0.001
2000	12	5.4	0.1	11.2	2	0.425	0.5	0.007	0.001	2.592	0.001
2001	1	6.9	0.1	13.2	2	0.561	0.5	0.009	0.001	3.297	0.001
2001	2	7.3	0.1	14.8	2	0.63	0.5	0.009	0.001	3.558	0.001
2001	3	5.3	0.1	11.4	2	0.395	0.5	0.007	0.001	2.558	0.001
2001	4	4.9	0.1	11.0	2	0.295	0.5	0.007	0.001	2.39	0.001
2001	5	5.0	0.1	11.7	2	0.284	0.5	0.007	0.001	2.47	0.001
2001	6	6.1	0.1	13.4	2	0.261	0.5	0.007	0.001	2.889	0.001
2001	7	7.6	0.1	12.0	2	0.279	0.5	0.008	0.001	3.143	0.001
2001	8	8.1	0.1	12.5	2	0.304	0.5	0.008	0.001	3.353	0.001
2001	9	8.4	0.1	18.8	2	0.681	0.5	0.008	0.001	4.177	0.001
2001	10	8.9	0.1	17.7	2	0.859	0.5	0.009	0.001	4.276	0.001
2001	11	4.2	0.1	9.3	2	0.327	0.5	0.006	0.001	1.986	0.001
2001	12	0.8	0.1	4.4	2	0.037	0.5	0.002	0.001	0.344	0.001
2002	1	4.7	0.1	9.6	2	0.336	0.5	0.007	0.001	2.185	0.001
2002	2	3.1	0.1	7.6	2	0.195	0.5	0.005	0.001	1.422	0.001
2002	3	5.6	0.1	11.8	2	0.421	0.5	0.007	0.001	2.694	0.001
2002	4	6.5	0.1	13.9	2	0.405	0.5	0.008	0.001	3.192	0.001
2002	5	7.5	0.1	16.4	2	0.43	0.5	0.008	0.001	3.709	0.001
2002	6	7.8	0.1	12.2	2	0.285	0.5	0.008	0.001	3.223	0.001
2002	7	8.3	0.1	12.6	2	0.304	0.5	0.008	0.001	3.416	0.001
2002	8	8.6	0.1	13.0	2	0.323	0.5	0.009	0.001	3.561	0.001
2002	9	8.4	0.1	18.7	2	0.676	0.5	0.008	0.001	4.167	0.001