



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

MODELACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA EN SISTEMAS COMPLETOS
CON LA HERRAMIENTA RREA. CASO DE APLICACIÓN: CUENCA DEL RÍO
DUERO (PARTE ESPAÑOLA)

Versión 4.0 Fecha enero 2024

Javier Paredes Arquiola

Grupo de Ingeniería de Recursos Hídricos
Instituto de Ingeniería del Agua y Medio Ambiente
Universidad Politécnica de Valencia

1. INTRODUCCIÓN.

En este documento se explica el desarrollo de un modelo de calidad de aguas a gran escala con la herramienta Respuesta Rápida al Estado Ambiente (RREA). Junto con este documento se puede descargar la información necesaria para el desarrollo del caso de aplicación, así como el modelo resuelto.

El objetivo es mostrar la facilidad de uso de la herramienta a la hora de crear modelos complejos. Sin embargo, para realizar un trabajo realista se deberá trabajar en profundidad sobre los diferentes datos y aspectos del modelo y así mejorar la representación del mismo.

El ejemplo se centra en la parte española de la cuenca del río Duero. Los datos no son actuales y han sido modificados por lo que los resultados del modelo no deben ser considerados como una representación de la cuenca. Este ejercicio debe entenderse meramente como un ejemplo académico.

2. INFORMACIÓN DISPONIBLE

Para el desarrollo del modelo se parte de la **información** que a continuación se explica.

En cuanto a información en formato de Sistema de Información Geográfica (SIG) se dispone de las siguientes capas descargadas de la aplicación MIRAME de la Confederación Hidrográfica del Duero (CHD).

- **CuencasVertientes_masa.zip:** contiene las cuencas vertientes de las 689 masas de agua superficiales de la cuenca (parte española).
- **Embalses.zip:** en ella se encuentra los embalses de la cuenca.
- **Segmentos_de_rio.zip:** contiene la red hidrográfica de la cuenca
- **Vertidos.zip:** contiene información de los 5653 vertidos registrados en la cuenca. Con se verá más adelante con esta información se calculará la carga que producen los vertidos sobre las masas de agua superficiales.

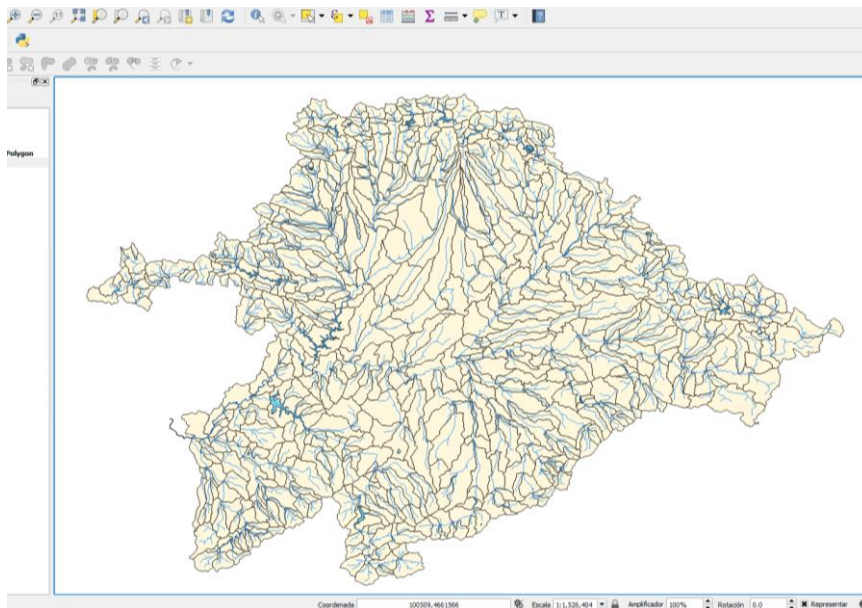


Figura 1 Red Hidrográfica CHD

En la carpeta de **datos** se dispone de la información que se detalla a continuación.

- **Características_Físicas.xlsx**: hoja de cálculo que contiene una tabla con las masas de agua superficiales (tramos de río y embalses). Tabla adicional con la orden de flujo de las masas de agua. Esta tabla contiene el código de las masas de agua, a que masa vierte, el orden de flujo y la longitud de la masa en Km o la mitad de la capacidad del embalse en hm^3 si es un embalse.
- **AportacionesDuero.xlsx**: Contiene la serie temporal de aportaciones (hm^3/mes) de todas las masas de agua desde octubre de 1980 a septiembre 2006. Importante: la serie ha sido modificada respecto la serie real.
- **Datos_Qobs_Vobs.xlsx**: A modo de ejemplo de la web del Centro de Estudios Hidrográficos (CEH-CEDEX) se ha descargado la información temporal de volumen embalsado y caudales de salida de dos embalses: **Barrios de Luna y Camporedondo**. Esta información nos servirá por un lado para considerar los volúmenes reales de estos dos embalses y por otro corregir los caudales aguas abajo de los mismos.
- **Reducciones_Tratamientos.xlsx**: En esta hoja de cálculo se recoge una tabla en donde se realizan estimaciones de reducción de los tres contaminantes considerados según la tipología de tratamiento.

3. INICIO DEL MODELO

Para comenzar el modelo creamos una carpeta nueva y en ella copiamos el archivo **RREA.xlsm** y el ejecutable **aqt_reea.exe**. El primero es la hoja de cálculo que nos sirve de interfaz, el segundo es el motor de cálculo. Ambos archivos se encuentran en la carpeta **Instalación/Ejecución directa**.

Al archivo de interfaz le podemos cambiar el nombre sin ningún problema para identificar mejor el modelo que estamos desarrollando.

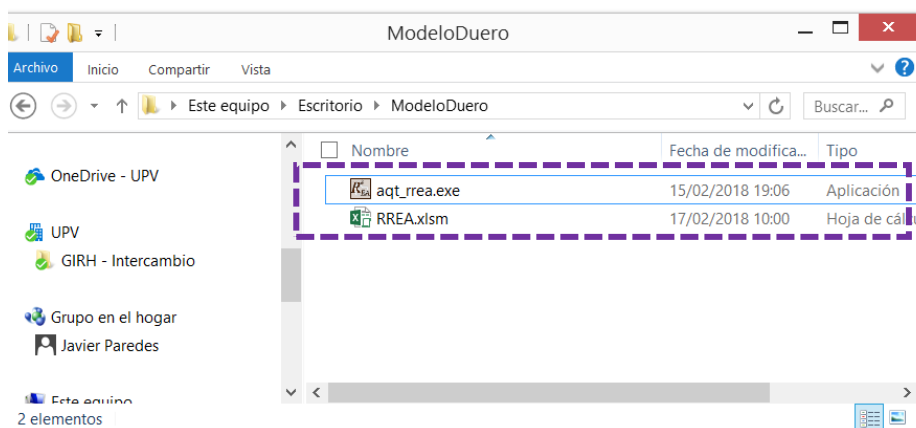


Figura 2 Archivo RREA.xlsm y ejecutable RREA

A continuación, se abre la hoja de cálculo y accedemos a la pestaña “control”.

En primer lugar, el usuario debe definir los contaminantes que se desea modelar. En este caso son: la materia orgánica (DBO), el fósforo total (P) y el nitrógeno total (N). *Nota: en este ejemplo,*

por simplicidad, nos referimos a la materia orgánica como DBO sin distinguir entre si es última o a cinco días.

Codigo	Nombre	Archivo	Coefte_Temp	Umbral	Natural
DBO	DBO	Sal_dbo.csv	1	6	0.5
FOSFORO	Fósforo	Sal.fosf.csv	1	0.4	0.001
NITROGENO	Nitrógeno	Sal_nitr.csv	1	5	0.1

Figura 3 Contaminantes modelados

Además del código y nombre del contaminante debemos de definir el **nombre del archivo de resultados**, el **coeficiente corrector de temperatura de la constante de degradación** (si se quiere tener en cuenta) y el **umbral de concentración** para el cual si un mes la concentración calculada es superior se considera que se ha producido un fallo. Existe la opción de definir una concentración natural del contaminante que el programa utilizará como resultado en aquellas masas de agua que no se ven afectadas por ningún vertido.

4. INFORMACIÓN DE LAS MASAS DE AGUA

Una vez definidos los contaminantes a modelar nos centramos en definir la información sobre las masas de agua. Para ello se accede a la pestaña “Masas” en ella encontramos la siguiente tabla:

Codigo	Vierte a	Orden flujo	Tipo_masa	Long Vol
1	5	0	1	10.409
2	200644	1	2	45.752
3	4	0	1	8.239
4	200645	1	2	22.593
5	200644	1	2	21.405
6	23	0	1	26.639
7	200644	1	2	6.167
8	7	0	1	8.644
9	4	0	1	9.277
10	13	0	1	9.086
11	823	0	1	5.134
12	200649	0	2	34.268
13	15	1	1	11.059
14	15	0	1	8.092
15	16	2	1	8.584

Figura 4 Características físicas de las masas de agua

En la primera columna se debe definir los **códigos de todas las masas de agua**.

En la segunda columna se define el código de la **masa de agua a la que vierte**, en caso de ser masa de salida del sistema se define como cero.

En la tercera columna se escribe el **orden de flujo** de cada masa. El orden de flujo se corresponde con una numeración entera en donde el 0 son las masas de agua de cabecera, el 1 las masas justo de aguas abajo de las de cabecera, el 2 las siguientes, etc.

Nota: Si no se dispone de esta información se puede ejecutar la macro “Principal Orden de flujo” que calcula el orden de flujo de las masas de agua y rellena esta columna.

Y en la cuarta columna, se identifica la tipología de la masa de agua (río =1; embalse=2). La quinta columna se corresponde con la longitud de la masa de agua en km en caso de tratarse de un río o volumen de almacenamiento medio, en hm³, en caso de tratarse de un embalse.

Para el caso del Duero copiamos los códigos de las masas de agua, el vierte a, el orden de flujo y la longitud del archivo **Características_Físicas.xlsx** y lo pegamos en la tabla de nuestro modelo.

5. APORTACIONES

El siguiente paso será crear rellena la tabla de aportaciones del modelo. Las series de aportaciones representan la estimación de la escorrentía total que se genera en la subcuenca de cada masa de agua de forma natural.

Para ello accederemos a la pestaña de “Aportaciones” y, en primer lugar, tendremos que crear tantas columnas como masas de agua tenga nuestro modelo. El encabezado de cada columna contendrá el código de la masa de agua.

Seguidamente rellenaríamos las filas de la matriz con las series de aportaciones de cada masa de agua. En nuestro caso encontramos esta información en el archivo **AportacionesDuero.xlsx**.

APORTACIONES (HM3/MES)														
Fecha	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
oct-80	1.6359	8.642226	1.658	4.626258	3.10821	2.903592	0.923115	1.596171	2.515149	2.060704	7.32394	3.099194	1.47226	1.00081
nov-80	5.1813	27.6336	2.8216	9.442502	10.89285	10.117857	3.5754	5.25705	3.854859	5.861317	14.735658	14.747484	5.67639	4.99316
dic-80	7.80819	36.183216	2.6389	11.79596	14.086252	9.6815	6.660592	10.755956	2.66475	3.975048	11.533794	16.517952	4.71786	5.90234
ene-81	5.09126	15.817788	2.2132	8.428205	9.241988	8.91036	3.664514	5.720946	1.920105	2.733264	8.241394	6.329926	3.96857	4.70318
feb-81	2.73029	12.87291	4.2094	4.491785	6.275635	3.798333	1.750745	2.759525	2.432055	2.988715	5.95228	9.66448	3.09432	2.59570
mar-81	3.51477	15.17922	3.1513	4.758608	6.87078	4.055392	2.42991	3.56328	3.37806	4.023232	9.458853	6.619019	3.40735	2.35379
abr-81	10.7718	50.878827	7.1532	16.37496	22.421178	16.630764	8.457111	11.694717	7.88424	12.14978	15.709368	15.54364	12.0954	8.78592
may-81	5.57708	30.255262	7.1685	10.248084	11.68173	13.329374	4.14513	8.139528	7.090846	8.184834	14.820294	11.332965	7.37303	5.14313
jun-81	1.59945	9.673085	2.1739	3.202929	3.533535	3.918833	1.093525	2.442645	2.682183	1.65205	5.135796	8.066814	1.58175	1.47489
jul-81	0.21647	1.08899	0.6942	1.874736	0.488556	2.95344	0.151267	0.282343	1.112432	0.626894	1.400026	0.960378	0.73434	0.71653
ago-81	0.28689	1.405664	0.5397	1.561838	0.65618	2.31398	0.20056	0.359264	0.714932	0.563006	0.932096	0.44109	0.67093	0.66978
sep-81	0.85836	6.442365	1.0519	2.987336	2.029275	1.884515	0.69042	1.37773	1.393054	0.900163	3.070813	0.851229	0.88394	0.7593
oct-81	5.21464	18.896388	2.481	6.97392	10.274688	4.9305	3.341652	5.226534	3.63726	1.989428	7.429194	5.664819	2.23731	1.99737
nov-81	1.31913	5.890526	1.2466	2.666066	2.83279	2.38134	1.062226	1.94891	0.96089	0.657436	2.653915	1.720502	0.75481	0.63806
dic-81	5.31041	24.081012	1.2131	8.339472	9.346932	11.593025	4.289766	7.643304	2.071296	1.479034	4.38976	9.6363	2.34905	2.53366
ene-82	11.5322	28.894668	5.2269	17.138444	17.981752	13.559704	6.374766	9.45003	4.015668	3.77841	12.273144	20.748798	5.40704	5.07262
feb-82	5.60326	15.85896	3.1085	8.79564	9.6876	7.256496	3.92288	4.8737	2.216456	2.054484	11.643489	7.509921	2.77736	3.2339
mar-82	8.70116	28.295084	7.7991	11.449908	17.924572	8.3853	5.287842	8.607898	10.57774	6.351234	16.130107	7.901712	5.47774	2.95461
abr-82	2.43943	16.404744	3.0529	5.429844	5.656526	4.419457	2.161104	4.027512	4.825107	2.979852	6.689088	3.499357	2.33312	1.61611
may-82	1.77433	10.931209	1.8138	3.194884	3.383781	2.484375	1.240458	2.640553	3.275244	1.750372	4.040244	2.524704	1.89108	1.3911
jun-82	1.55473	8.510112	2.4678	4.460516	3.070823	3.642055	1.156957	2.200264	3.315424	2.106443	3.271095	5.871388	1.84132	1.42715
jul-82	0.47002	2.399056	1.8035	4.55723	0.930772	1.421959	0.342254	0.608378	2.205028	0.507305	0.743094	1.417328	0.58393	0.49299
ago-82	0.09554	0.462836	1.9133	4.881024	0.189074	1.081642	0.068096	0.122476	1.932072	0.190808	0.567876	1.103784	0.22112	0.1889
sep-82	0.26056	2.883387	1.0034	2.917472	0.639132	0.623819	0.201552	0.545649	1.350174	0.24453	0.676845	0.672162	0.25425	0.24996
oct-82	3.5619	16.7307	1.2543	4.06628	7.20285	2.576418	2.08785	3.3108	2.17002	2.150368	5.71734	3.52656	2.27002	2.17495
nov-82	6.0841	25.42496	2.6402	8.488516	11.981792	6.30669	3.549056	5.308672	3.609126	5.18391	11.927474	6.317608	5.70809	5.00677
dic-82	14.14737	36.97927	6.6690	30.76212	30.833206	17.73349	10.336904	17.40668	0.6431	0.36316	31.367039	33.140066	13.0386	13.7873

Figura 5. Matriz de aportaciones

Algunas consideraciones sobre los datos de aportaciones:

- Unidades: hm³/mes.
- Período: Debe ser común para todas las masas de agua. Además, debe contener las fechas que se definen en la tabla de opciones del modelo (Fecha de inicio y número de meses a simular).
- Puede definirse aportaciones negativas en ríos perdedores.
- Una serie temporal por masa de agua.
- Las series deben de ser completas, no puede haber huecos.

6. PRESIONES (CARGAS DE CONTAMINANTES):

El siguiente dato por introducir sería la carga de contaminante que le llega a cada masa de agua. Aunque es un tema independiente del uso de la herramienta en este apartado, a modo de

ejemplo, se muestra como realizar un cálculo de carga contaminante puntual a partir de información básica de vertidos. Para ello utilizaremos la capa de vertidos descargada junto a la información SIG.

Abrimos el archivo **3_DatosVertidos.xlsx** con la hoja de cálculo y extraemos la información que se puede ver en la figura:

record	tipo	depuracion	volumem3	habequiv	Medio receptor
0295. -AV	Urbano hasta 1999 habitantes equivalentes	SIN DEPURAR	5000.00	150.00	Cauce o similar
0093. -SA	Urbano hasta 1999 habitantes equivalentes	FOSA S ÈPTICA	24220.00	700.00	Cauce o similar
0542. -SA	Urbano hasta 1999 habitantes equivalentes	SIN DEPURAR	3913.00	100.00	Cauce o similar
0545. -SA	Urbano hasta 1999 habitantes equivalentes	SIN DEPURAR	4088.00	150.00	Cauce o similar
0348. -SA	Urbano hasta 1999 habitantes equivalentes	FOSA S ÈPTICA	15853.00	250.00	Cauce o similar
0515. -SA	Urbano hasta 1999 habitantes equivalentes	SIN DEPURAR	1600.00	30.00	Cauce o similar
0059. -SA	Urbano hasta 1999 habitantes equivalentes	FOSA S ÈPTICA	35880.00	1018.00	Cauce o similar
0094. -AV	Urbano hasta 1999 habitantes equivalentes	SIN DEPURAR	9000.00	250.00	Cauce o similar
0127. -SA	Urbano hasta 1999 habitantes equivalentes	FANGOS ACTIVADOS	27500.00	1171.00	Cauce o similar
0879. -SA	Industrial con sustancias peligrosas	FOSA S ÈPTICA	730.00	0.00	Cauce o similar
0608. -ZA	Urbano hasta 1999 habitantes equivalentes	FOSA S ÈPTICA	3088.00	150.00	Terreno
0311. -AV	Urbano hasta 1999 habitantes equivalentes	FOSA S ÈPTICA	462.00	8.00	Terreno
0737. -SA	Urbano hasta 1999 habitantes equivalentes	FOSA S ÈPTICA	109.00	1.00	Terreno
0324. -AV	Urbano hasta 1999 habitantes equivalentes	BALSA DE DECANTACION	5710.00	120.00	Terreno

Figura 6 Información vertidos extraída de la capa GIS

Creamos una hoja de cálculo a parte para el cálculo de cargas. Esta hoja, con todos los cálculos se encuentra en la carpeta de **cálculos intermedios**, archivo **CalculoCargas.xlsx**.

Como se puede ver en la figura anterior tenemos un código del vertido, la categoría del vertido (tipo), que tipo de tratamiento tiene (depuración), el volumen autorizado, los habitantes equivalentes y el medio receptor.

La carga inicial de cada vertido la calcularemos con unas dotaciones de 60, 1.5 y 10 g/hab.*día para DBO, fósforo y nitrógeno. Cambiamos las unidades para calcularlas en kg/mes (que son las unidades de entrada al programa).

Seguidamente tenemos que calcular que reducción puede tener cada contaminante por el tratamiento aplicado. Para ello se aporta la tabla que se encuentra en la carpeta de **datos** en el archivo **Reducciones_Tratamientos.xlsx**.

1	SISTEMAS	Reducción DBO	Reducción Fósforo	Reducción N
2	SIN DEPURAR	0	0	0
3	OTROS	0	0	0
4	SIN DEPURAR	0	0	0
5	TRATAMIENTO TERMICO	0	0	0
6	DESBASTE	0.1	0	0
7	SEPARADOR DE GRASAS	0.1	0	0
8	SEPARADOR DE HIDROCARBUROS	0.1	0	0
9	FOSA S ÈPTICA	0.35	0	0
10	POZOS NEGROS	0.3	0.1	0.1
11	TANQUE IMHOFF / POZO O.M.S.	0.3	0.1	0.1
12	DECANTACION PRIMARIA	0.45	0.1	0.1
13	FISICO-QUIMICO	0.45	0.1	0.1
14	BALSA DE DECANTACION	0.65	0.2	0.3
15	LECHOS BACTERIANOS	0.85	0.2	0.2
16	LECHO DE TURBA	0.8	0.25	0.35
17	SISTEMAS DE INEUTRACION	0.0	0.0	0.0

Figura 7 Información sobre los coeficientes de reducción según tratamiento

Para otros casos, con tratamientos más generales se ha utilizado la siguiente tabla:

Trat_2009	Rendimiento DBO5	Rendimien to Ptotal	Rendimient o Nitrógeno
Otros	0	0	0
Sin tratamiento	0	0	0
Pretratamiento - Desbaste	0	0	0
Tratamiento primario - Decantación primaria	0.33	0.1	0.1
Tratamiento primario - Físico-Químico	0.33	0.1	0.1
Tratamiento primario - Otros	0.33	0.1	0.1
Tratamiento primario - Sin definir	0.33	0.1	0.1
Tratamiento secundario - Fangos activados	0.92	0.4	0.4
Tratamiento secundario - Lagunaje	0.92	0.4	0.4
Tratamiento secundario - Lechos bacterianos o biofiltros	0.92	0.4	0.4
Tratamiento secundario - Otros	0.92	0.4	0.4
Tratamiento más riguroso - Desinfección (cloración)	0.93	0.45	0.45
Tratamiento más riguroso - Eliminación de fósforo	0.93	0.9	0.45
Tratamiento más riguroso - Nitrificación-Desnitrificación	0.93	0.45	0.9
Tratamiento más riguroso - Ultrafiltración/Ósmosis inversa	0.93	0.9	0.9
Tratamiento más riguroso - Desinfección (cloración)	0.93	0.9	0.9

Figura 8 Información extra sobre los coeficientes de reducción en función de tratamiento

Cabe la posibilidad de considerar una reducción de la carga debida al medio receptor. Se ha asumido la siguiente reducción en función de los diferentes tipos de medio receptor disponibles:

Medio receptor	Reducción
Cauce o similar	0.00
Terreno	0.20
Otros	1.00

Figura 9 Coeficientes de reducción en función del medio receptor

Para asignar a cada vertido ambas reducciones se utiliza la fórmula **BuscarV** de la hoja de cálculo (importante exigir coincidencia exacta).

Nota: no existe una única metodología para el cálculo de la presión sobre el medio natural por lo que en cada caso deberá ajustarse para que sea lo más representativo posible a la realidad.

Por otro lado, aunque en este ejemplo se están estimando las cargas de contaminación a partir de los habitantes equivalentes, disponer de concentraciones medidas de salidas de vertido o depuradora acerca notablemente más a la realidad la presión estimada sobre el medio natural.

Finamente para asignar cada vertido sobre que masa de agua ejerce la presión tenemos que emplear alguna herramienta SIG del tipo **JOIN**, mediante la cual se puede obtener dicha relación. En la siguiente figura se muestra esta herramienta en el programa QGIS aunque es una herramienta básica disponible en cualquier GIS.

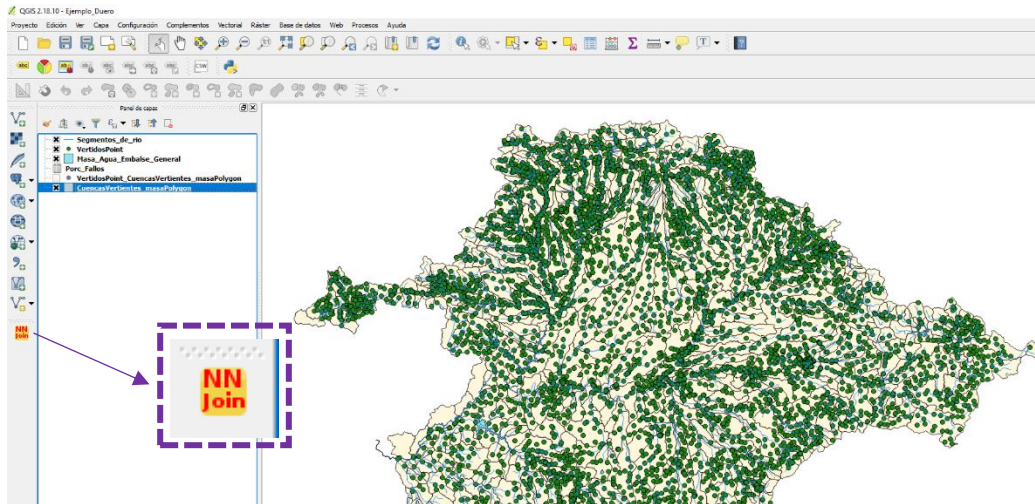


Figura 10 Herramienta NNJoin en QGIS

Una vez relacionadas las tablas de masas de agua (Capa “Cuencas vertientes”) y vertidos, se obtendrá una nueva capa que contendrá información sobre ambos campos.

VertidosPoint_CuencasVertientes_masaPolygon :: Objetos totales: 5653, filtrados: 5653, seleccionados: 0

record	origen	type_fk	tipo	depuracion	volumen3	habequiv	vertidoa	join_id	join_idmasa
1	0295.-AV		1 Urbano hasta 19...	SIN DEPURAR	5000.000000000...	150.0000000000...	Cauce o similar	2500011	630
2	0093.-SA		1 Urbano hasta 19...	FOSA SÁ%PTICA	24220.000000000...	700.0000000000...	Cauce o similar	2500608	629
3	0542.-SA		1 Urbano hasta 19...	SIN DEPURAR	3913.0000000000...	100.0000000000...	Cauce o similar	2500608	629
4	0545.-SA		1 Urbano hasta 19...	SIN DEPURAR	4088.0000000000...	150.0000000000...	Cauce o similar	2500608	629
5	0348.-SA		1 Urbano hasta 19...	FOSA SÁ%PTICA	15853.000000000...	250.0000000000...	Cauce o similar	2500609	628
6	0515.-SA		1 Urbano hasta 19...	SIN DEPURAR	1600.0000000000...	30.000000000000...	Cauce o similar	2500609	628
7	0059.-SA		1 Urbano hasta 19...	FOSA SÁ%PTICA	35890.000000000...	1018.0000000000...	Cauce o similar	2500004	627
8	0094.-AV		1 Urbano hasta 19...	SIN DEPURAR	9000.0000000000...	250.0000000000...	Cauce o similar	2500004	627
9	0127.-SA		1 Urbano hasta 19...	FANGOS ACTIVA...	27500.000000000...	1171.0000000000...	Cauce o similar	2500004	627
10	0879.-SA		7 Industrial con su...	FOSA SÁ%PTICA	730.00000000000...	0.0000000000000...	Cauce o similar	2500004	627
11	0608.-ZA		1 Urbano hasta 19...	FOSA SÁ%PTICA	3088.0000000000...	150.0000000000...	Terreno	2500064	200714
12	0311.-AV		1 Urbano hasta 19...	FOSA SÁ%PTICA	462.00000000000...	8.0000000000000...	Terreno	2500048	200685
13	0737.-SA		1 Urbano hasta 19...	FOSA SÁ%PTICA	109.00000000000...	1.0000000000000...	Terreno	2500048	200685
14	0324.-AV		1 Urbano hasta 19...	BALSA DE DECA...	5710.0000000000...	120.0000000000...	Terreno	2500574	200683

Figura 11 Referencia expediente vertido relacionado con la masa de agua que afecta

Al guardar la nueva capa, se podrá abrir el archivo “.dbf” correspondiente en Excel y extraer la información de interés. Con todo ello la matriz de cálculo de cargas queda de la siguiente forma:

record	tipo	depuracion	volumen3	habequiv	Medio receptor	Factor Medio Recop	Facto Trat DBO	Factor Trat P	Factor Trat N	Kg Dbo/mes	KgP/mes	KgN/mes	Masa A la que vertie
0295.-AV	Urbano hasta 1999 habitantes equivalentes	SIN DEPURAR	5000.00	150.00	Cauce o similar	1	1	1	1	274.50	9.15	45.75	630
0093.-SA	Urbano hasta 1999 habitantes equivalentes	FOSA SÁPTICA	24220.00	700.00	Cauce o similar	1	0.65	1	1	832.65	42.7	213.5	629
0542.-SA	Urbano hasta 1999 habitantes equivalentes	SIN DEPURAR	3913.00	100.00	Cauce o similar	1	1	1	1	181.00	6.1	30.5	628
0545.-SA	Urbano hasta 1999 habitantes equivalentes	SIN DEPURAR	4088.00	150.00	Cauce o similar	1	1	1	1	274.50	9.15	45.75	629
0348.-SA	Urbano hasta 1999 habitantes equivalentes	FOSA SÁPTICA	15853.00	250.00	Cauce o similar	1	0.65	1	1	297.38	15.25	76.25	628
0515.-SA	Urbano hasta 1999 habitantes equivalentes	SIN DEPURAR	1600.00	30.00	Cauce o similar	1	1	1	1	54.90	1.83	9.15	628
0059.-SA	Urbano hasta 1999 habitantes equivalentes	FOSA SÁPTICA	35890.00	1018.00	Cauce o similar	1	0.65	1	1	1219.91	62.098	310.49	627
0094.-AV	Urbano hasta 1999 habitantes equivalentes	SIN DEPURAR	9000.00	250.00	Cauce o similar	1	1	1	1	457.50	15.25	76.25	627
0127.-SA	Urbano hasta 1999 habitantes equivalentes	FANGOS ACTIVADOS	27500.00	1171.00	Cauce o similar	1	0.1	1	1	214.29	71.431	357.155	627
0879.-SA	Industrial con sustancias peligrosas	FOSA SÁPTICA	730.00	0.00	Cauce o similar	1	0.65	1	1	0.00	0	0	627
0608.-ZA	Urbano hasta 1999 habitantes equivalentes	FOSA SÁPTICA	3088.00	150.00	Terreno	0.8	0.65	1	1	142.74	7.32	36.6	200714
0311.-AV	Urbano hasta 1999 habitantes equivalentes	FOSA SÁPTICA	462.00	8.00	Terreno	0.8	0.65	1	1	7.61	0.3904	1.952	200685
0737.-SA	Urbano hasta 1999 habitantes equivalentes	FOSA SÁPTICA	109.00	1.00	Terreno	0.8	0.65	1	1	0.95	0.0488	0.244	200685
0324.-AV	Urbano hasta 1999 habitantes equivalentes	BALSA DE DECONTACION	5710.00	120.00	Terreno	0.8	0.35	1	1	61.49	5.856	29.28	200683
0367.-AV	Urbano hasta 1999 habitantes equivalentes	SIN DEPURAR	22427.00	349.00	Terreno	0.8	1	1	1	550.94	17.0312	85.156	200683
0510.-AV	Urbano hasta 1999 habitantes equivalentes	FOSA SEPTICA CON FILTRO BIOLÓGICO	600.00	14.00	Terreno	0.8	0.1	1	1	2.05	0.6832	3.416	200683
0523.-AV	Urbano hasta 1999 habitantes equivalentes	FOSA SÁPTICA	300.00	8.00	Terreno	0.8	0.65	1	1	7.61	0.3904	1.952	200683
0523.-AV	Urbano hasta 1999 habitantes equivalentes	FOSA SÁPTICA	750.00	15.00	Terreno	0.8	1	1	1	14.54	0.488	2.44	200683
0795.-SG	Urbano hasta 1999 habitantes equivalentes	FANGOS ACTIVADOS	324.00	4.00	Terreno	0.8	0.1	1	1	0.59	0.1952	0.976	200681
0832.-SG	Urbano hasta 1999 habitantes equivalentes	FOSA SÁPTICA	350.00	41.00	Terreno	0.8	0.65	1	1	39.02	2.0008	10.004	200681
0917.-SA	Urbano hasta 1999 habitantes equivalentes	FOSA SÁPTICA	7.18	1.00	Terreno	0.8	0.65	1	1	0.95	0.0488	0.244	200679
0918.-SA	Urbano hasta 1999 habitantes equivalentes	FOSA SÁPTICA	4.53	1.00	Terreno	0.8	0.65	1	1	0.95	0.0488	0.244	200679
0516.-SA	Urbano hasta 1999 habitantes equivalentes	FOSA SÁPTICA	14.11	1.00	Terreno	0.8	0.65	1	1	0.95	0.0488	0.244	200678
0447.-SG	Urbano hasta 1999 habitantes equivalentes	FOSA SÁPTICA	3121.00	60.00	Terreno	0.8	0.65	1	1	57.10	2.928	14.64	200677
0625.-SG	Urbano hasta 1999 habitantes equivalentes	OTROS	2519.00	40.00	Terreno	0.8	1	1	1	58.56	1.952	9.76	200677
0751.-AV	Urbano hasta 1999 habitantes equivalentes	FOSA SÁPTICA	50.00	0.00	Terreno	0.8	1	1	1	0.00	0	0	200674
0777.-ZA	Urbano hasta 1999 habitantes equivalentes	FOSA SÁPTICA	9.55	1.00	Terreno	0.8	0.65	1	1	0.95	0.0488	0.244	200671
0092.-ZA	Urbano hasta 1999 habitantes equivalentes	FOSA SÁPTICA	1825.00	200.00	Terreno	0.8	0.65	1	1	190.32	9.76	48.8	200666
0939.-ZA	Urbano hasta 1999 habitantes equivalentes	FOSA SÁPTICA	54.00	0.00	Terreno	0.8	0.65	1	1	0.00	0	0	200666
0273.-SO	Industrial clase II	FOSA SÁPTICA	451.00	0.00	Terreno	0.8	0.65	1	1	0.00	0	0	200665

Figura 12 Información cargas de entrada por vertido

Seguidamente partiendo de la tabla de códigos de masas de agua y utilizando la fórmula **surmar.si.conjunto** calculamos la carga de cada contaminante en kg/mes por masa de agua.

CódigoMasa	Cargas		
	DBO (kg/mes)	P (Kg/mes)	N (Kg/mes)
1	166.53	8.54	42.7
2	1166.8995	59.841	299.205
3	954.711	192.272	961.36
4	870.165	71.98	359.9
5	1307.9925	60.085	300.425
6	1186.4805	62.159	310.795
7	47.58	2.44	12.2
8	158.2035	8.113	40.565
9	100.1376	3.7088	18.544
10	218.502	9.333	46.665
11	235.155	15.25	76.25
12	1128.561	51.667	258.335
13	457.5	17.995	89.975
14	432.795	21.655	108.275
15	1904.115	66.673	333.365
16	59.475	3.05	15.25
17	1158.39	57.645	288.225
18	1230.492	170.312	851.56
20	0	0	0
21	406.992	20.557	102.785
22	20.313	6.771	33.855
23	1926.5325	97.356	486.78
24	215.391	10.858	54.29
25	0	0	0
26	93.513	11.041	55.205
27	2116.9806	431.6482	2158.241
28	1073.295	54.473	272.365
29	264.069	13.542	67.71
31	108.9582	5.5876	27.938

Figura 13 Carga de entrada por masa de agua

Los resultados obtenidos de carga por masa de agua se trasladan al modelo a la pestaña de "Cargas".

Código	DBO	FOSFORO	NITROGENO
1	166.53	8.54	42.7
2	1166.8995	59.841	299.205
3	954.711	192.272	961.36
4	870.165	71.98	359.9
5	1307.9925	60.085	300.425
6	1186.4805	62.159	310.795
7	47.58	2.44	12.2
8	158.2035	8.113	40.565
9	100.1376	3.7088	18.544
10	218.502	9.333	46.665
11	235.155	15.25	76.25
12	1128.561	51.667	258.335
13	457.5	17.995	89.975
14	432.795	21.655	108.275
15	1904.115	66.673	333.365
16	59.475	3.05	15.25

Figura 14. Introducción de las cargas al modelo

Algunas consideraciones para tener en cuenta en el cálculo de cargas:

- Aunque se ha comentado previamente, es importante remarcar que en caso de disponer de medidas de concentraciones y volúmenes de vertido (o depuradora) conviene utilizar este dato como estimación de la carga.

- Si no se dispone del dato de habitantes equivalentes puede utilizarse el dato de volumen autorizado y asumiendo una dotación (por ejemplo 225 l/hab.*día) para estimar los habitantes. Sin embargo, hay que tener en cuenta que a veces hay volúmenes autorizados son extremadamente grandes. Por otro lado, las dotaciones pueden variar en función del tamaño de la población.
- Hay algunos vertidos que deben considerarse especiales como: minas, piscifactorías, refrigeración, etc.
- El método utilizado para estimar la carga puede producir diferencias muy significativas en el resultado final de la misma y en consecuencia en los resultados del modelo.

7. CONSTANTES DE DEGRADACIÓN

Seguidamente definimos las **constantes de degradación** de los contaminantes en cada masa de agua. La velocidad de reducción de un contaminante en el medio acuático depende principalmente del origen del contaminante y de las condiciones físicas del medio. Así por ejemplo un vertido sin depuración previa cuando llega al medio acuático natural tiene unas constantes de degradación muy superiores a un agua residual previamente depurada.

En el modelo se debe definir, para cada masa de agua y cada contaminante, una constante. Esto se hace en la pestaña "Constantes" según la siguiente figura. En este caso hemos escogido unas constantes iguales para todas las masas de agua. Los parámetros de degradación se introducen en unidades de d^{-1} .

Codigo	DBO	FOSFORO	NITROGENO
1	0.15	0.05	0.02
2	0.15	0.05	0.02
3	0.15	0.05	0.02
4	0.15	0.05	0.02
5	0.15	0.05	0.02
6	0.15	0.05	0.02
7	0.15	0.05	0.02
8	0.15	0.05	0.02
9	0.15	0.05	0.02
10	0.15	0.05	0.02
11	0.15	0.05	0.02
12	0.15	0.05	0.02
13	0.15	0.05	0.02

Figura 15. Contantes de degradación por masa de agua y contaminante

En modelos de calidad de agua la definición de constantes suele hacerse mediante un proceso de **calibración**, del que se hablará más tarde, a partir de la comparación de datos observados con resultados del modelo. Sin embargo, para aplicaciones a gran escala, conviene hacer algunas hipótesis de constantes iniciales. Esto puede hacerse fijando algunas constantes iniciales en función del grado de depuración de la carga contaminantes que llega a la masa, el tipo de masa o la cantidad de carga que llega.

8. SIMULACIÓN

En este momento ya se ha creado un modelo básico y con el que se puede hacer una primera simulación. Para ello volvemos a la hoja “General”.

En la parte de arriba a la izquierda definimos las opciones de simulación: Fecha inicial de simulación, número de meses a simular y opciones.

Parametro	Opcion	Obs
Fecha	01/10/1980	de simulación
Num_sim	312	tiempos a
Op_Dem	0	demandas, 0
Op_Qeco	0	cumplimientos caudales
Op_Tagua	0	cuenta la temperatura
Op_Qobs	0	caudales observados, 0
Op_Vobs	0	Volúmenes de embalse
Op_Carga_Var	0	cuenta la carga
Simbolo_masa_conl	_	separación entre masa de

Figura 16 Tabla de control de simulación

En la parte superior derecha se definirá el correo electrónico y la clave proporcionada en el proceso de registro del software.

REGISTRO	
email	xxxxx@xxx.es
clave	XXXXXXXXXXXX

Figura 18. Registro

Finalmente, al apretar el botón Simular la interfaz generará los archivos de entrada al modelo y llamará al ejecutable “aqt_rrea.exe”. Este archivo ejecutable tiene que estar ubicado en la misma carpeta que la hoja de cálculo. En la simulación no aparece ningún aviso de que se ha realizado la simulación por lo que se debe verificar que el programa se ha ejecutado revisando la fecha de los archivos de resultados.

9. DATOS OPCIONALES

Partiendo del modelo básico desarrollado hasta el momento se puede incrementar su complejidad para acercarlo más a la realidad de la cuenca introduciendo una serie de datos opcionales. Entre ellos se tienen las demandas, caudales ecológicos, temperatura del agua, caudales y volúmenes observados.

a. Demandas:

En este caso práctico no se ha incluido el efecto de las demandas sobre el modelo. Pero si usuario decidiese incluir información sobre las demandas de agua (hm^3/mes) que afectan a las masas de agua modeladas, sería necesario completar la matriz de demandas en la interfaz.

Existe la opción de considerar demandas variables dentro del año, pero igual para todos los años o demanda variables en todos los meses de simulación. Ello depende de si en la opción de demandas (hoja de control) hemos definido un 1 o un 2. Para el primer caso se deberán aportar doce valores, uno para cada mes del año. En el segundo caso se deberán aportar tantos datos como la serie de aportaciones.

La primera columna de la matriz se especifica el mes o la fecha. El resto de la matriz estará compuesto por tantas columnas como número de masas afectadas por alguna demanda. El encabezado de las columnas debe contener el código de las masas de agua.

Si algún valor de la tabla de mandas es negativo se asume que es un retorno. Además, si en el balance de caudales que se produce en la masa el caudal final es negativo se asume un caudal nulo. En la información que se provee es necesario que no haya blancos, por lo que, en caso de que una masa no esté afectada por detracciones, se le asignará un cero.

b. Caudales ecológicos:

Al igual que las demandas, el presente módulo es opcional y no se ha incluido en el modelo desarrollado. En caso de que el usuario decidiese activarlo sería necesario completar la matriz de caudales ecológicos en la interfaz.

Se incluirán tantas columnas como masas de agua en donde se requiera controlar el caudal ecológico. El encabezado de las columnas debe contener el código de las masas de agua a tener en cuenta está opción.

Si se activa la opción de caudales ecológicos el programa calcula, para cada masa de agua y cada mes, el déficit porcentual de caudal ecológico que se produce.

c. Temperatura del Agua

Por último, se localiza el módulo opcional de Temperaturas, el cual tampoco ha sido activado en el presente ejemplo. Si no se activa el presente módulo el programa realizará los cálculos asumiendo una temperatura constante de 20°C .

El usuario puede asignar una curva de temperatura, que se ajuste a las características climáticas de la zona de estudio o, si dispone de la información, puede emplear datos observados de temperatura del agua. Además, al igual que el resto de las matrices, no puede haber blancos.

Se incluirán tantas columnas como masas de agua en donde se requiera tener en cuenta la temperatura del agua. El encabezado de las columnas debe contener el código de las masas de agua.

d. Caudales observados:

El modelo RREA está diseñado para trabajar con modelos de grandes dimensiones espaciales. Pero ello conlleva que errores en masas de aguas arriba se trasladen hacia aguas abajo. Por ello,

en el programa permite modificar el caudal calculado en algunas masas de agua con datos observados.

Para definir caudales observados accederemos a la pestaña de “caudales observados” y rellenaremos la matriz teniendo en cuenta lo siguiente.

La primera columna corresponde a la fecha de caudal. Seguidamente tendremos tantas columnas como masas de agua a corregir el caudal. La cabecera de la columna coincidirá con el código de la masa. En este caso, las masas no tienen porque guardar un orden establecido.

El período debe ser el mismo que el de la serie de aportaciones por lo que la matriz de caudales observados tendrá tantas filas como la de las aportaciones. Finalmente hay que comentar que no se admiten huecos de información y que las unidades de entrada son hm³/mes.

CAUDALES OBSERVADOS (HM3/MES)			
Fecha	200647	200650	
01/10/1980	8.50		18
01/11/1980	63.20		1.3
01/12/1980	30.20		1.3
01/01/1981	42.10		1.3
01/02/1981	38.70		1.2
01/03/1981	43.10		1.3
01/04/1981	78.00		1.3
01/05/1981	29.00		40.5
01/06/1981	13.30		58.3
01/07/1981	16.50		45.6
01/08/1981	20.00		40.9

Figura 17. Introducción de caudales observados.

En nuestro caso, a modo de ejemplo se ha introducido las salidas de los embalses Barrios de Luna y Camporredondo. La información se encuentra en la carpeta Datos en la hoja de cálculo **Datos_Qobs_Vobs.xlsx**. La introducción de los datos de salida de embalse como caudal observado permite tener en cuenta el efecto de la regulación en el régimen de caudales de la cuenca y, en consecuencia, sobre la calidad del agua. Otros puntos en donde, si existen registros de aforo, conviene incluir caudales observados es en zonas con grandes extracciones de agua.

e. Volúmenes observados:

El modelo ofrece la opción de incluir registros de volúmenes observados en embalses. Esta opción mejora el cálculo de las concentraciones de las masas de agua de tipo embalses ya que en vez de calcular para un volumen fijo se calculará las concentraciones con diferentes volúmenes embalsados.

Al igual que la opción de caudales observados, en este caso no es preciso que las masas de agua se encuentren en orden. Además, los registros deben coincidir con el periodo simulado y no puede haber celdas vacías.

Para incluir esta información accederemos a la pestaña de volúmenes observados y rellenaremos la matriz tal y como aparece en la figura.

VOLÚMENES OBSERVADOS (HM3/MES)		
Fecha	200647	200650
01/10/1980	20.30	10.9
01/11/1980	30.70	12.9
01/12/1980	67.20	17.5
01/01/1981	96.50	29.8
01/02/1981	122.80	40.7
01/03/1981	181.40	67
01/04/1981	226.90	85.8
01/05/1981	238.10	76.5
01/06/1981	190.50	52.3
01/07/1981	117.20	38.8
01/08/1981	58.90	23.1
01/09/1981	27.40	10.8
01/10/1981	42.50	13
01/11/1981	47.50	13.3
01/12/1981	95.90	15.7
01/01/1982	167.60	53.4
01/02/1982	191.70	71.6
01/03/1982	221.20	87.1

Figura 18. Introducción de la información sobre volúmenes observados.

En nuestro caso, y a modo de ejemplo, se ha introducido los volúmenes registrados para los embalses de Barrios de Luna y Camporeddondo. La información se encuentra en la carpeta Datos en la hoja de cálculo **Datos_Qobs_Vobs.xlsx**. Como se ha comentado previamente, la introducción de esta información permite mejorar significativamente el pronóstico de concentraciones de contaminantes en los embalses.

10. RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN

Tras realizar una primera simulación, desde la pestaña de control, el programa se ejecutará y generará los archivos de resultados en la carpeta de trabajo.

Todos los archivos de resultados son del tipo “csv” consistentes en archivos de texto con la información separada por “;”. Esto hace que sean fácilmente editables con la hoja de cálculo o cualquier otro programa. Los archivos que genera el programa son los siguientes:

- **Sal_rrea.err**: este archivo contiene un registro de las simulaciones que se van realizando. Además, si hay algún problema de ejecución en este archivo se escribirá la causal del error.
- **Sal_Caudales.csv**: en este archivo por cada masa de agua (columnas) se especifica el caudal de salida de cada masa de agua (hm^3/mes).
- **XXXX.csv**: para cada contaminante, y en función del nombre de archivo definido en la hoja Control, se produce un archivo con las concentraciones simuladas para cada masa de agua (columnas) y cada mes de simulación (filas). Las unidades de salida son mg/l .
- **Sal_Porc_Fallos.csv**: este archivo contiene tantas filas como masa de agua y tantas columnas como contaminantes +3. La primera columna se corresponde con los códigos de las masas de agua. La segunda con el porcentaje de meses en que el caudal es cero, la tercera el porcentaje de meses en que el caudal es menor que el ecológico. El resto de columnas, una por contaminante, los valores se corresponden con el porcentaje (en tanto por uno) de fallos de cada masa de agua para cada contaminante en función del umbral definido en la hoja de control.
- **Sal_Def_Eco.csv**: en caso de que se consideren los caudales ecológicos este archivo recoge los resultados del cumplimiento de los mismos. El valor numérico que se escribe en el archivo, para cada masa (columnas) y cada mes (filas) es el porcentaje de déficit del caudal ecológico.

11. PROCESO DE CALIBRACIÓN

Una vez se ha definido el modelo y todos los datos opcionales se debe realizar el proceso de calibración. Como se ha explicado previamente las constantes de degradación en tramos de río se introducen en d^{-1} . Las constantes de degradación deberán tener valores realistas, en la siguiente tabla se recogen rangos científicos de algunas constantes:

Parámetro	Abreviatura	Rango (1/d)	Coficiente Corrector Temperatura
Descomposición de la materia orgánica carbonosa	Kd	0.02-3.4	1.047
Degradación del fósforo	Kp	0.01-0.7	1.047
Nitrificación del amonio	Kn	0.01-1	1.083

Tabla 1. Rangos bibliográficos de algunas constantes de degradación.

El objetivo del programa RREA es permitir el desarrollo de modelos que permitan definir las masas de agua con problemas de cumplimiento de los criterios de calidad. En modelos de calidad de aguas de detalle, modelos para una sola masa de agua, la eficacia del modelo se mide con algún índice que compare los datos observados con los simulados. En casos como este, con modelos simplificados y en donde se modelan cientos de masas de agua, es normal utilizar “criterios de confusión”. Estos criterios son estadísticos que nos dicen en qué casos el modelo dice que una masa de agua “cumple” o “incumple” los criterios ambientales. Para ello se habla de la matriz de confusión como la que se presenta en la siguiente tabla.

		OBSERVADO	
		CUMPLE	INCUMPLE
SIMULADO	CUMPLE	VP	FP
	INCUMPLE	FN	VN

Tabla 2. Matriz de confusión de los resultados.

Donde:

- VP: Verdadero Positivo->tanto observados como simulados definen la masa como “cumple”.
- FP: Falso Positivo->El modelo dice que la masa de agua cumple mientras que los observados reflejan incumplimiento.
- FN: Falso Negativo->los cálculos muestran un incumplimiento mientras que los datos observados muestran cumplimiento.
- VN: Verdadero Negativo->ambas fuentes reflejan incumplimiento ambiental de la masa.

Con esta clasificación para cada masa de agua se puede sacar los siguientes estadísticos (siendo n es el número total de masas de agua):

Exactitud: $(VP+VN)/n$

Precisión: $VP/(VP+FP)$

TPR (True Positive Rate o ratio de verdaderos positivos): $VP/(VP+FN)$

TNR (True Negative Rate o ratio de verdaderos negativos): $VN/(VN+FP)$

F1: $2VP/(2VP+FP+FN)$

La exactitud nos define el número de aciertos respecto el total masas de agua mientras que la precisión nos dice el número de aciertos de cumplimiento del criterio medioambiental respecto el total de masas que cumplen.

El indicador TPR nos define el porcentaje de positivos reales respecto al total de masas de agua que en la realidad (observados) cumple. El índice TNR es similar al anterior, pero con negativos.

Finalmente, el **índice F1** resume los anteriores y oscila entre 0 y 1. Siendo 1 un ajuste perfecto. Se puede utilizar el índice F1 como un indicador global de la calidad de la modelación.

Cabe destacar que, en general, habrá un porcentaje de masas de agua que no estén muestreadas. Por ello a lo anterior hay que añadir dos categorías más: NEP (No evaluada con resultado Positivo) y NEN (No Evaluada con resultado Negativo). Estas masas son interesantes porque o confirman la necesidad de no medir la masa de agua o, en el otro caso, el resultado del modelo nos indica la necesidad de poner atención a una masa de agua que se creía en buen estado.

Cuando hay discordancias entre el modelo y los datos observados, antes de utilizar las constantes para ajustar valores, se debe tener en cuenta lo siguiente:

- Revisar las unidades de medida de las redes de calidad.
- Comprobar que los caudales no están desajustados en la masa de agua.
- Las cargas son excesivamente altas debido a la información de partida utilizada (habitantes equivalentes o volúmenes autorizados muy altos).
- Pueden haber vertidos mal asignados a las masas de agua.
- Puede que haya pocas medidas para caracterizar las masas o que estas se hagan en momentos solo de verano o invierno.
- Puede que la estación de control se localice aguas arriba del vertido problemático y las muestras no representen la situación real.

12. ANÁLISIS DE RESULTADOS CON SIG

Una de las formas más prácticas de analizar los resultados del modelo es la visualización de mapas de estado de las masas de agua. En este apartado se explica como trasladar los resultados obtenidos a un mapa de la cuenca. Para ello se ha utilizado la aplicación QGIS.

A continuación, se enumeran los pasos a seguir para realizar dicho análisis en el software QGIS:

- 1- Lo primero de todo es cargar los resultados obtenidos en la plataforma de GIS. Para ello, vamos a la pestaña **CAPA**, seleccionamos la opción **AÑADIR CAPA** y elegimos **AÑADIR CAPA DE TEXTO DELIMITADO**.

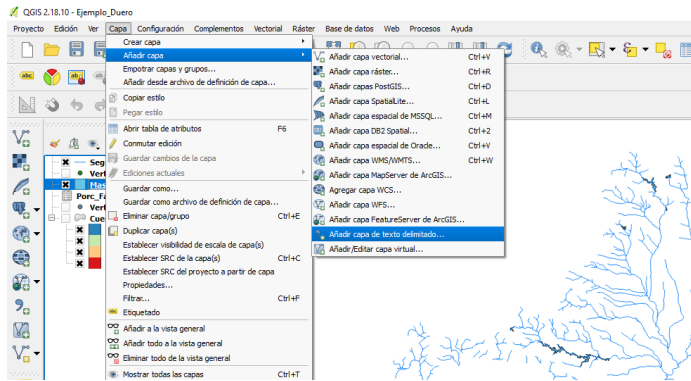


Figura 19. Añadir archivo csv en QGIS.

A continuación, nos aparecerá un panel donde debemos seleccionar el archivo que se desea cargar. Antes de cargar la capa, es necesario señalar en la **DEFINICIÓN DE GEOMETRÍA** la opción de “ninguna geometría”.

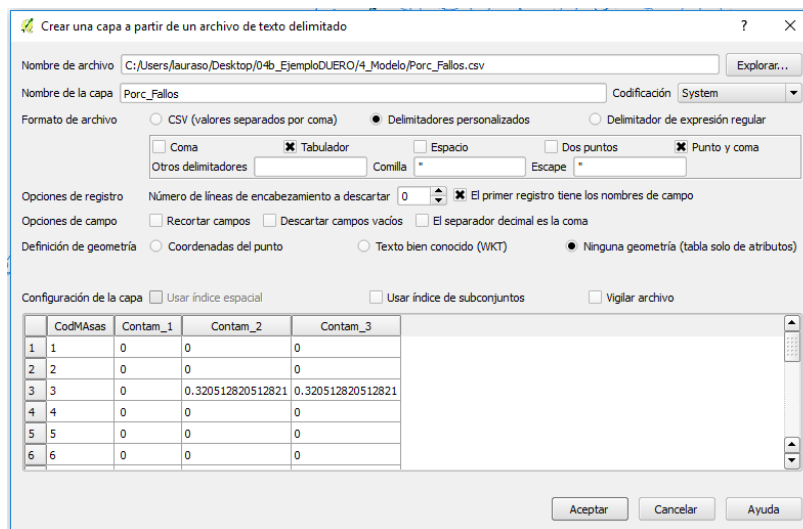


Figura 20. Opciones de importación de archivo “csv” en QGIS.

- 2- Una vez cargado el archivo, abrimos el panel de propiedades de la capa “CuencasVertientes” presionando el botón derecho sobre dicha capa.

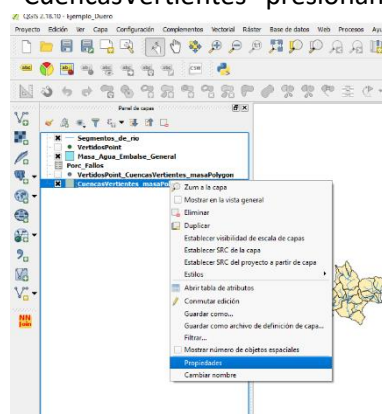


Figura 21. Selección de la capa de subcuencas.

- 3- A continuación, vamos a la pestaña del panel de propiedades “**UNIONES**” y unimos el archivo resultados a dicha capa. Para ello es necesario presionar el símbolo “**PLUS**”.

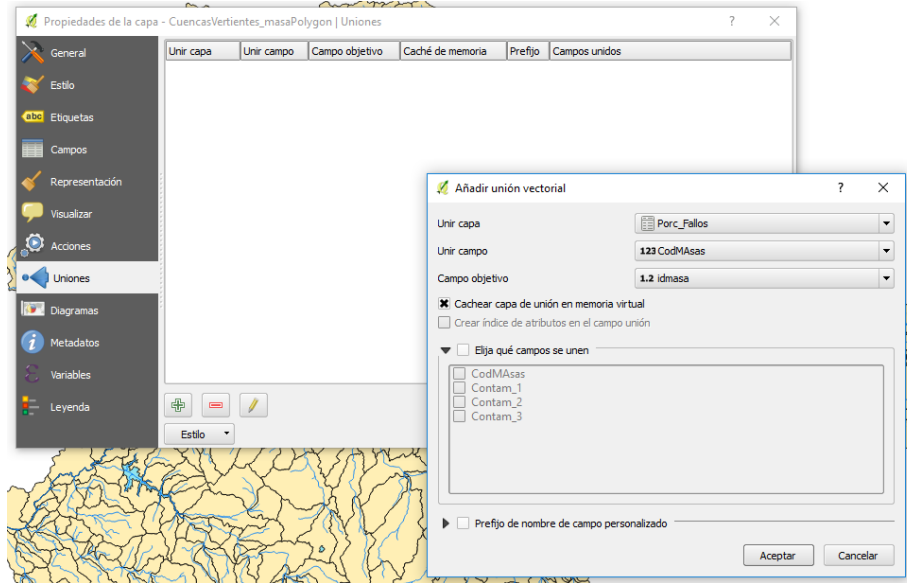


Figura 22. Unión del Shapefile de subcuencas con los resultados de RREA

En “**UNIR CAPA**” determinados el archivo de resultados y en “**UNIR CAMPO**” el campo en común con la capa de “CuencaVertientes”. El campo en común entre ambos archivos es el código de masa de agua.

- 4- Una vez unidas las capas, se selecciona la pestaña de **ESTILO** del mismo panel de propiedades. Desplegamos la pestaña de tipología de símbolo y elegimos **GRADUADO**.

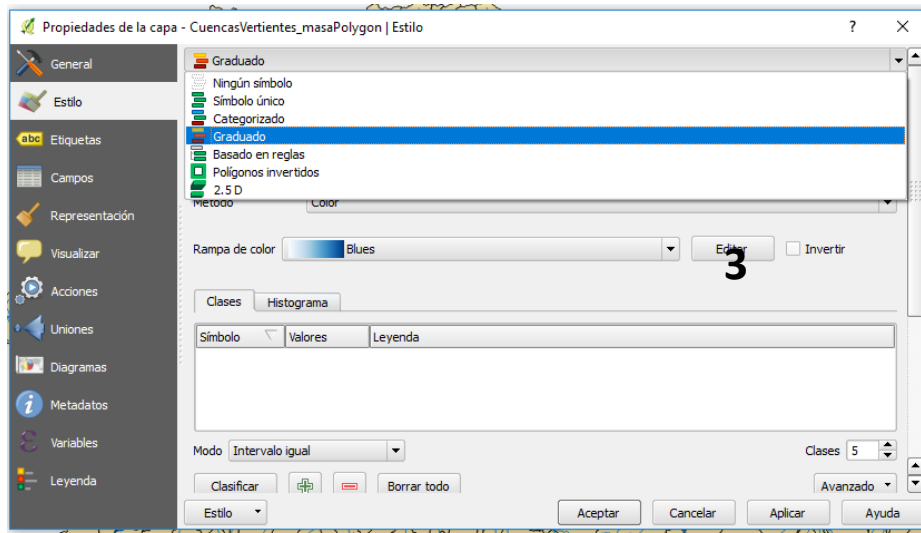


Figura 23. Graduación de los resultados.

A continuación, se determina la columna que se desea representar. Al haber realizado la unión previa, la capa de “CuencaVertientes” ahora consta con la información de los resultados obtenidos con el RREA para cada contaminante modelado. Por lo que vamos a seleccionar el **Porc_FallosContam_01**, el cual corresponde al porcentaje de fallos por incumplimiento del

umbral de DBO. Seguidamente, seleccionamos debajo a la derecha del panel el número de **CLASES**, en este caso serán cuatro. Y, por último, determinaremos que la **RAMPA DE COLOR** sea la denominada **SPECTRAL**, pero, activando la opción de **INVERTIR**.

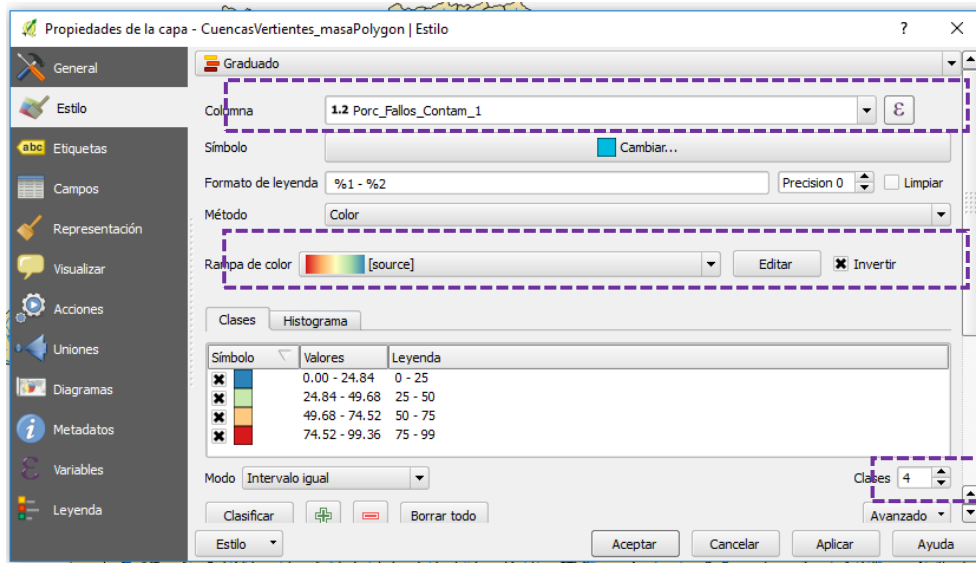


Figura 24. Características de la clasificación

Una vez realizados dichos pasos, se obtendrá un resultado similar al mostrado en la siguiente figura. Finalmente, para cambiar el contaminante representado solo será necesario indicar en la pestaña COLUMNA el contaminante que se desea representar.

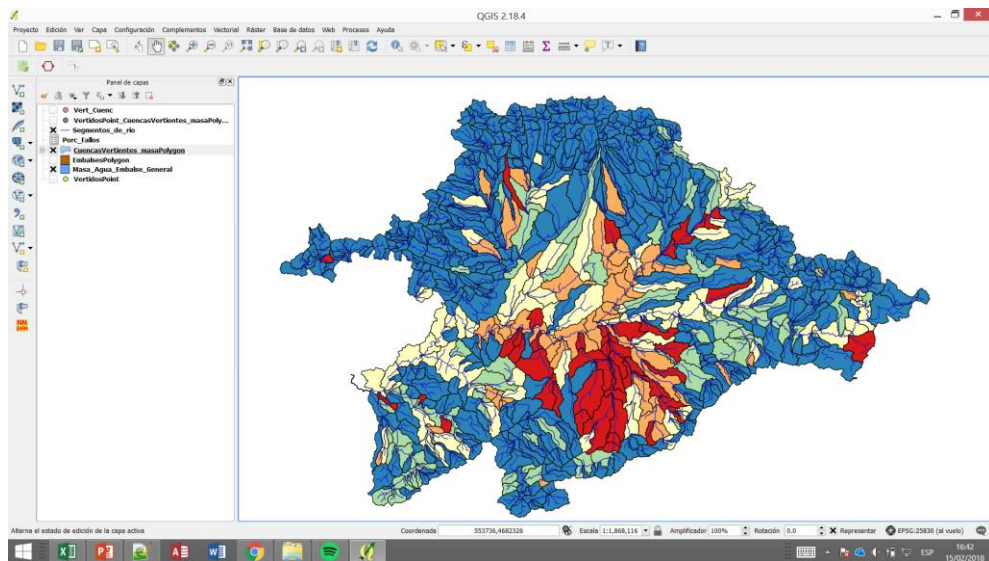


Figura 25 Ejemplo: Clasificación del estado de las subcuencas del ejemplo Duero

Además del tratamiento de los resultados mediante mapas, también es recomendable realizar el análisis mediante:

- La realización de un análisis probabilístico comparativo entre resultados y observados. Mediante los cuales se puede identificar el ajuste general del modelo.
- Análisis de la variabilidad fisicoquímica, por masa de agua, en función de la estacionalidad.

- Además, es recomendable comprobar la coincidencia directa entre masas, para saber qué porcentaje de aciertos tiene el modelo.
- En general, el control analítico de todas las masas de agua de una demarcación es un trabajo complicado y costoso. Por lo que uno de los resultados significativos del presente modelo, es conocer aproximadamente la situación fisicoquímica de dichas masas. Por lo que, es recomendable realizar un análisis específico sobre la situación de las masas no controladas analíticamente.
- Además, puede ser de utilidad, realizar un análisis espacial sobre la localización de las estaciones de control de calidad. Ya que en ocasiones se sitúan aguas arriba de las zonas problemáticas, por lo que los resultados no representan la situación fisicoquímica de la masa de agua. Pudiendo ser de interés modificar la localización de la misma.

13. SIMULACIÓN DE ESCENARIOS

Una vez calibrado el modelo y analizados los resultados, se inicia la fase de “uso directo” del modelo. A partir de este punto, el usuario puede plantearse la ejecución del RREA en diferentes escenarios. Principalmente, puede ser de interés para el usuario el análisis de los resultados en los siguientes escenarios:

- Cara a la aplicación de medidas correctoras, se puede obtener información sobre cómo va a afectar dichas actuaciones sobre el estado fisicoquímico del agua. Si realmente van a mejorar el estado o es mejor aplicarlas en otros puntos de la red hidrográfica.
- Manipulación del modelo en escenarios que afecten a los caudales. A corto plazo, se puede plantear la modelación del estado de las masas durante periodos de sequía. A largo plazo, se puede analizar cómo va a afectar el Cambio Climático a al estado fisicoquímico de las masas de agua.
- Además, el módulo de caudales ecológicos permite al usuario estimar el incumplimiento de los caudales mínimos en la zona de estudio durante el periodo simulado.

Además, también se podrían analizar los siguientes puntos:

- En caso de haber incluido en las aportaciones intercuenca el volumen de agua vertido, se puede identificar qué porcentaje de aportación de cada masa proviene de vertidos. Estos resultados pueden ser de especial interés durante la época estival o durante las sequias.
- Análisis del riesgo ambiental, en base a criterios fisicoquímicos, de las masas modeladas.
- Por último, se plantea el cálculo de la Huella Gris de la demarcación por masa de agua. Se considera Huella Gris al agua que se contamina como resultado de las presiones antrópicas. Este criterio se estima como la cantidad de agua que es necesaria para diluir los contaminantes de forma que no superen los umbrales máximos estipulados por la normativa vigente.

14. CONCLUSIONES

El modelo RREA es una herramienta de sencillo manejo para el desarrollo de modelos a gran escala. Además, sus resultados permiten identificar las zonas sometidas a mayores presiones,

en las cuales ya puede ser conveniente aplicar modelos con mayor detalle cómo puede ser el módulo GESCAL de AQUATOOL.

Los resultados obtenidos, permiten al usuario validar los datos empleados como son: bases de datos de vertidos, aportaciones empleadas, etc.

La estructura del modelo RREA permite, que una vez calibrado, el usuario puede evaluar la respuesta ambiental de la zona de estudio frente a diferentes escenarios.

Finalmente hay que destacar que la herramienta presentada facilita la toma de decisiones sobre la aplicación de medidas correctoras mediante el análisis previo del efecto que estas tendrán sobre las masas de agua.