

APÉNDICE 3. MODELO DE SIMULACIÓN GEOIMPRESS

APÉNDICE 3. MODELO DE SIMULACIÓN GEOIMPRESS

1. INTRODUCCIÓN

GEOIMPRESS es un modelo de acumulación de presiones y simulación de impactos basado en un Sistema de Información Geográfica (SIG). Concretamente, se ha realizado con un script gráfico (aplicación ModelBuilder de ESRI, en el entorno ArcGis 9.2) y desarrollado por la Oficina de Planificación Hidrológica de la CHJ para la simulación del efecto de los cambios de las presiones y los impactos resultantes en las masas de agua superficiales. Si bien, como se comentará más tarde, el modelo se ha ajustado y mejorado en la Oficina de Planificación Hidrológica de la CHD para dotarlo de nuevas capacidades.

El modelo trabaja con presiones por contaminación puntual, simulando los parámetros de materia orgánica (DBO₅) y de fósforo (P). El esquema general de la modelación con GEOIMPRESS se muestra en la figura 1.

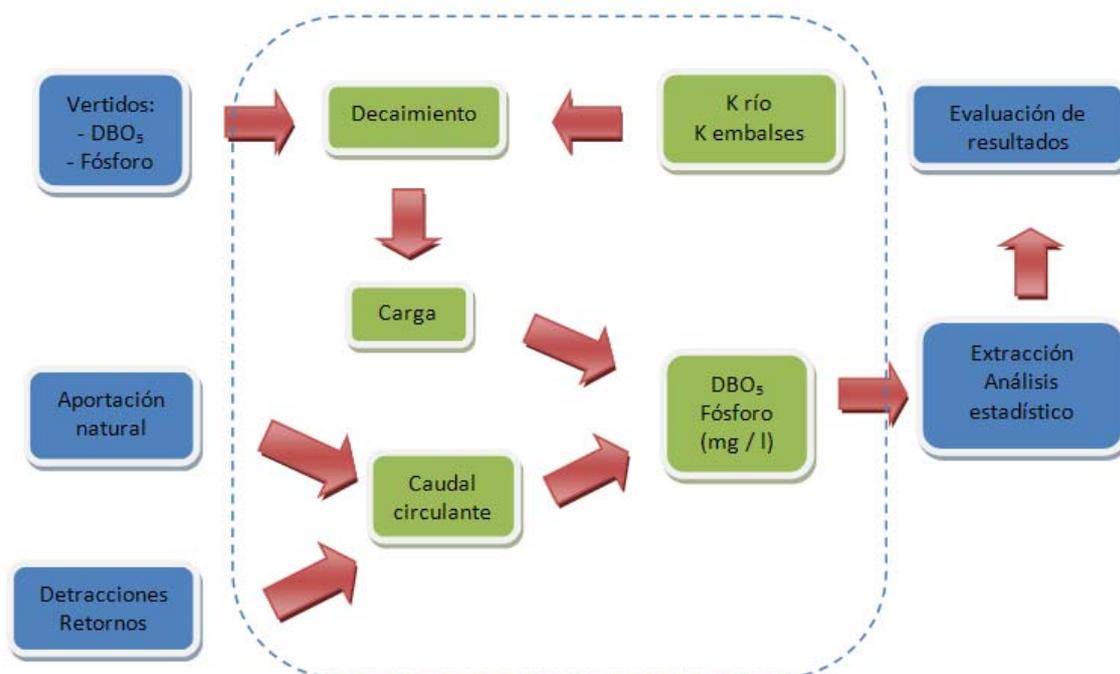


Figura 1. Esquema general de la modelación en GEOIMPRESS

2. ESPECIFICACIONES INICIALES DE ARCHIVO

Los inputs que alimentan al modelo se componen de archivos vectoriales y raster..

2.1 Archivos Raster

2.1.1 Raster de Direcciones

Es el encargado de acumular las presiones. Para la generación de este archivo se parte del modelo digital del terreno (MDT) del Duero de 25 metros de resolución, que se modifica en ArcGis con la herramienta *DEM Reconditioning*, al encajar las masas de agua superficiales sobre el MDT (*burning/fencing*).

A continuación se ejecuta la herramienta *Fill* (relleno de sumideros) para corregir errores y así obtener un raster de direcciones en el que cada celda vierta correctamente el flujo de agua a la celda adyacente que le corresponda.

2.1.2 Raster de aportaciones

Contiene los valores de aportación media mensual en régimen natural. La fuente de información es el modelo SIMPA (precipitación-escorrentía), que utiliza capas raster de tamaño de celda de 1000 m. Se calcula la media correspondiente al periodo de la serie larga (1940/41-2005/06) y la serie corta (1980/81-2005/06), que proporcionan valores de escorrentía total para cada una de las celdas en mm. Utilizando la herramienta *Flow Accumulation* (Acumulación de flujo) y los raster de aportaciones y de direcciones se obtiene un valor de aportación anual en régimen natural en cada pixel de la red fluvial.

Para comprobar la bondad del resultado de los raster de aportaciones acumuladas, se contrasta en varios puntos de la red con los datos de las estaciones de aforo en régimen natural. En las subcuencas donde se encuentran desviaciones importantes entre la aportación acumulada de GEOIMPRESS y la aportación aforada, se modifican los valores de aportación media de las series por los de las series restituidas o en régimen natural.

2.2 Archivos vectoriales

Los archivos vectoriales comparten sistema de coordenadas y extensión con los raster. Todos los volúmenes se expresan en hm³/año.

2.2.1 Captaciones superficiales para uso agrícola

Se utiliza la capa del mapa de regadíos que ha generado la OPH. Esta capa recoge datos de demanda neta y de la eficiencia de la red por Unidad de Demanda Agraria (UDA). Con estos datos se introduce en el modelo la demanda bruta de agua mediante un punto de extracción, ajustándolo en la medida de lo posible a la situación real de extracción.

2.2.2 Captaciones subterráneas para uso agrícola

La demanda neta de aguas subterráneas para riego se modela utilizando las parcelas de riego del sistema Alberca. En el modelo se introducen las captaciones con la demanda neta de agua. Se considera que no hay retorno.

2.2.3 Captaciones superficiales de uso urbano

Para incluir en el modelo los puntos referentes a la detracción de agua para abastecimiento se cuenta con el inventario de extracciones.

Dichas captaciones tienen su volumen calculado en función de los volúmenes concedidos a las Unidades de Demanda Urbana (UDU) o, si se carece de esta información, a partir de la población (permanente y estacional), y la dotación. Una vez conocida la demanda de cada UDU se le asigna a las captaciones de agua para abastecimiento.

2.2.4 Captaciones subterráneas de uso urbano

Se ha georreferenciado el inventario de captaciones del Sistema Alberca. Si bien, para preparar la información de volúmenes de detracción, es necesario realizar ajustes en los datos de origen referentes a volumen, dotación o población.

2.2.5 Evaporación de embalses

Para modelarlo, se calculan los centroides de los polígonos de los embalses. Cada punto, que representa un embalse, lleva asociado un valor de evaporación procedente de los cálculos que se realizan en Aquatool.

2.2.6 Transferencia de recursos

Para simular el efecto de los trasvases de agua se crea un punto con el volumen trasvasado en la zona de captación y otro punto en el lugar dónde se produce el retorno.

2.2.7 Retornos agrarios

Se incluyen los retornos del regadío cuyo origen del recurso son masas de agua superficial. Se ha calculado mediante la diferencia entre demanda bruta y neta. Se modelan distribuidos en los puntos de retorno de las Unidades Elementales de Demanda Agraria.

2.2.8 Retornos urbanos e industriales

Se modela el volumen máximo autorizado de los vertidos depurados (EDAR) y vertidos sin depurar. Esta información la proporciona la Comisaría de Aguas de la CHD.

2.2.9 Cargas contaminantes de los vertidos urbanos

En los modelos de simulación de impactos es menester el conocimiento de la carga contaminante vinculada a todos los efluentes, bien sean urbanos o industriales.

La unidad empleada para determinar la carga contaminante de la materia orgánica es “habitantes equivalentes” (hab-eq), concepto recogido en la Directiva Europea 91/271 de 21 de mayo de 1991 sobre el tratamiento de aguas residuales urbanas. En ella se define habitante equivalente como la carga orgánica biodegradable con una demanda bioquímica de oxígeno de cinco días (DBO_5) de 60 g de oxígeno por día.

La Carga Bruta de las diferentes Aglomeraciones Urbanas es la declarada por las comunidades autónomas. En la Figura 2 puede verse la distribución de los vertidos urbanos en la parte española de la demarcación hidrográfica del Duero simbolizados en función de la carga en hab-eq.

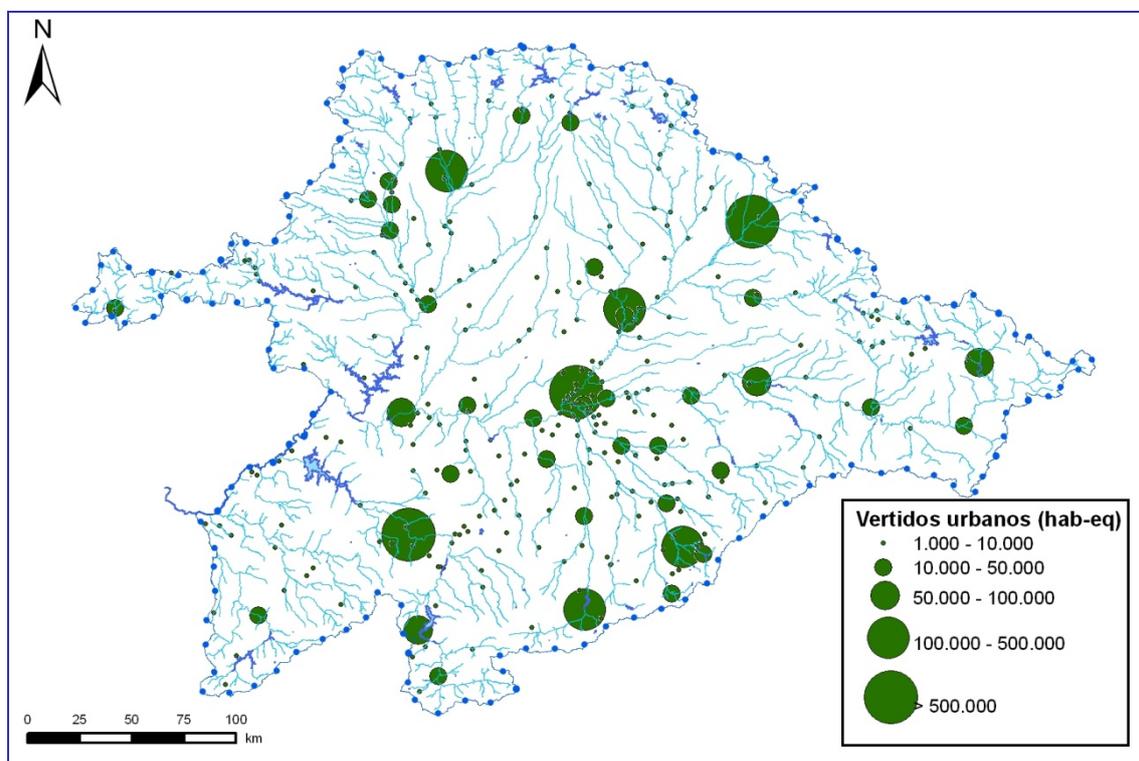


Figura 2. Vertidos urbanos (hab-eq)

Para la modelación del fósforo, la carga debe introducirse en t/año. Dado que no se disponen de datos reales de fósforo vertido es necesario estimarlo. Dicha estimación es simplificada y se realiza en base a los siguientes criterios:

$$P(t) = [\text{habitantes equivalentes}] * 1,77 \text{ g/día} * 365 \text{ días} / 1.000.000$$

Fuente: Elaboración propia a partir de la composición de vertidos urbanos antes del tratamiento de Encuesta sobre el suministro y tratamiento del agua. Años 2003 y 2004. INE

El resultado obtenido indica el volumen de cualquier tipo de depuración, es decir, volumen bruto vertido sin ningún tipo de tratamiento.

Una vez obtenida la carga bruta se estima la carga neta en función de los rendimientos de los diferentes tipos de tratamiento de la EDAR. Dichos rendimientos se corrigen a partir de la conformidad de las EDAR. Teniendo en cuenta lo siguiente:

- Si la aglomeración es “NO CONFORME”⁵ para un parámetro dado, entonces la carga neta (después del tratamiento)=carga bruta (antes del tratamiento)
- Si la aglomeración es “CONFORME” para un parámetro dado, la carga neta (después del tratamiento)=carga bruta (antes del tratamiento)* (1-rendimiento)

Para evaluar la eficiencia de los tratamientos de depuración, se realiza una asociación de los tipos de depuración de la base de datos de vertidos de Comisaria de Aguas de la CHD, con los tipos de tratamiento de la Tabla 1. Con estos tratamientos normalizados se establecen unos rendimientos máximos de depuración.

Tipo de tratamiento	Máximo Rendimiento DBO ₅	Máximo Rendimiento DQO*	Máximo Rendimiento SS*	Máximo Rendimiento N	Máximo Rendimiento P
PRETRATAMIENTO y/o EMISARIO	0	0	0	0	0
PRIMARIO	0,33	0,3	0,7	0,1	0,1
SECUNDARIO	0,92	0,75	0,95	0,35	0,4
MAS RIGUROSO (N)	0,93	0,75	0,95	0,75	0,45
MAS RIGUROSO (P)	0,93	0,75	0,95	0,35	0,9
MAS RIGUROSO (N y P)	0,92	0,75	0,95	0,75	0,8
SECUNDARIO + TERCIARIO	0,93	0,75	0,95	0,35	0,4
MAS RIGUROSO (N)+TERCIARIO	0,93	0,75	0,95	0,75	0,45
MAS RIGUROSO (P)+TERCIARIO	0,93	0,75	0,95	0,35	0,9
MAS RIGUROSO (N y P)+TERCIARIO	0,93	0,75	0,95	0,75	0,8

Tabla 1. Rendimientos máximos de depuración para diferentes niveles de tratamiento de aguas residuales urbanas

* Rendimientos de eliminación de DQO y SS obtenidos de XXIV Curso sobre tratamiento de aguas residuales y explotación de estaciones depuradoras, CEDEX. Madrid 2006

Nota: Se considera como tratamiento terciario aquel diseñado para la eliminación microbiológica (desinfección) para reutilización de efluentes.

3 MODELOS

Los modelos de simulación basados en GEOIMPRESS están compuestos por cinco modelos principales:

3.1 Modelo de caudal circulante

Permite obtener un raster de caudal medio anual (hm³/año) en régimen alterado, necesario para obtener concentraciones de contaminantes en las masas de agua. Para obtener el régimen alterado, se tienen en cuenta las captaciones superficiales y subterráneas para uso urbano, agrícola e industrial, y sus retornos correspondientes. A la acumulación de la aportación en régimen natural se le restan las captaciones consuntivas y se suma la acumulación de los retornos calculados. Por último, se introduce en el modelo el efecto de las derivaciones y retornos que suponen transferencias de agua entre diferentes masas de agua. Los caudales

⁵ Si hay información de conformidad analítica de la EDAR ésta predomina sobre la declaración sobre conformidad estructural

circulantes calculados se han contrastado con los valores medios obtenidos mediante simulación de la gestión del sistema con el modelo SIMGES de AQUATOOL. En la Figura 3 puede verse representada la aportación acumulada en régimen natural y en la Figura 4 la aportación en régimen alterado o caudal circulante.

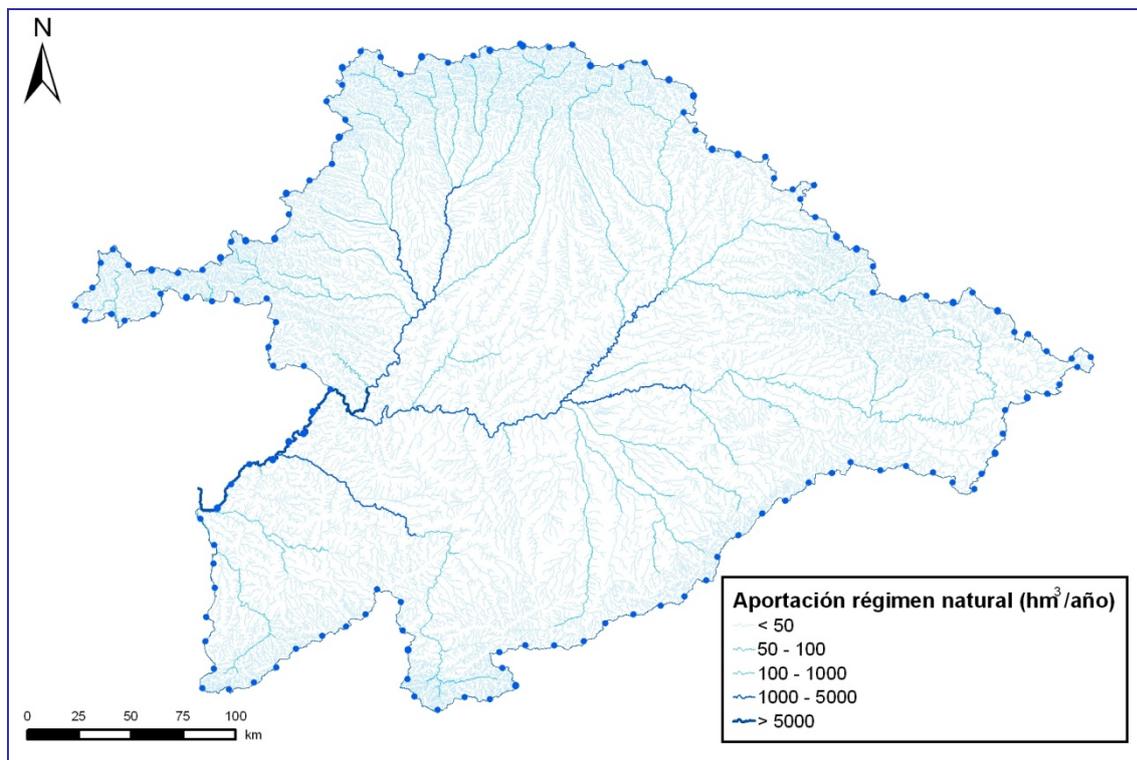


Figura 3. Aportación acumulada en régimen natural (1980/81-2005/06)

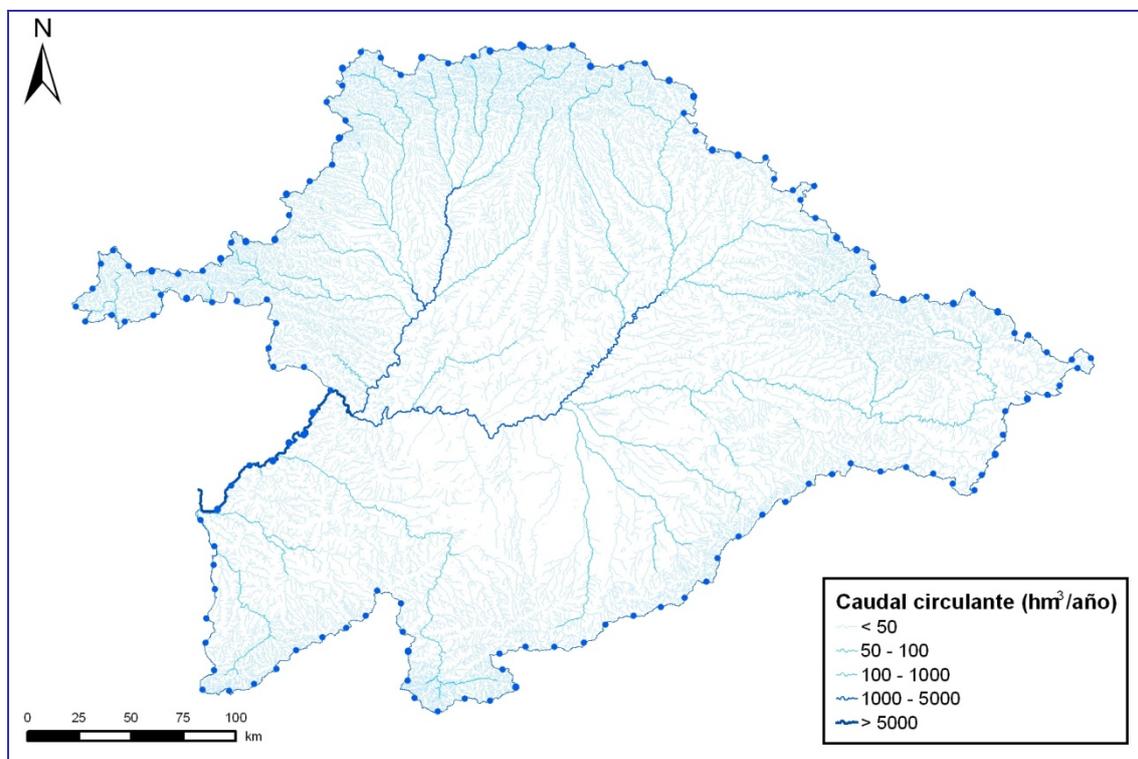


Figura 4. Aportación acumulada en régimen alterado (1980/81-2005/06)

3.2 Modelo de fósforo

Mediante este modelo se obtiene un raster distribuido de concentración de fósforo total a escala anual. Como se puede ver en la Figura 5, el modelo acumula la carga contaminante de los vertidos a lo largo de la red de drenaje, dicha carga se ve reducida en los embalses en función de las constantes de sedimentación calculadas con Aquatool. En los tramos de cauce sin embalse, por norma general, se contempla un decaimiento cercano a 0, ya que se considera el fósforo un contaminante conservativo, por lo que sólo se consideran los efectos de acumulación de carga y de dilución al variar los caudales circulantes. De este modo se consigue un raster distribuido de cargas de fósforo total en t/año. En el último paso se introduce el raster de caudal circulante (serie corta) que se relaciona con el raster de cargas de fósforo para obtener un raster distribuido de concentraciones.

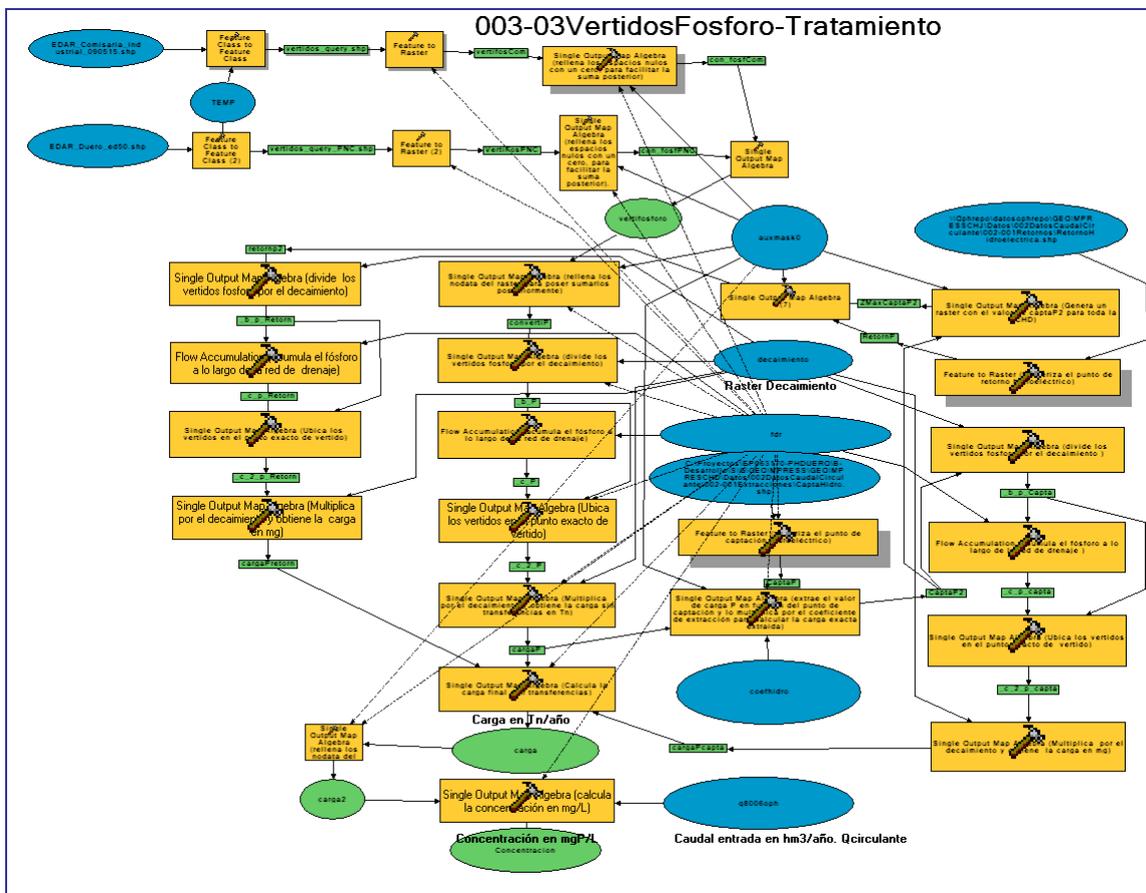


Figura 5. Script gráfico del modelo de simulación del fósforo en el escenario actual

3.3 Modelo de DBO₅

El modelo genera un raster distribuido de concentración de materia orgánica (DBO₅) a escala anual para todo el ámbito de estudio, considerando los procesos de acumulación, decaimiento y dilución de la materia orgánica.

El modelo acumula la carga contaminante a lo largo de la red de drenaje, a la vez que reduce la carga en embalses en función de unas constantes de decaimiento calibradas con GEOIMPRESS en cauces sin embalse de forma que se reproduzcan los valores medios observados en las estaciones ICA. Estas constantes (k) pueden ser calibradas con GEOIMPRESS. En los embalses se utilizan unas "k" de degradación calculadas con el módulo de calidad GESCAL de Aquatool.

De este modo, se consigue un raster distribuido de cargas orgánica en habitantes equivalentes. Al igual que en el modelo anterior, en el último paso se conjuga el raster de caudal circulante (serie corta) con el raster de carga orgánica para obtener un raster distribuido de demanda biológica de oxígeno.

3.4 Modelo de Decaimiento

El raster de coeficientes de degradación es necesario para modelar el efecto de degradación de la materia orgánica y sedimentación del fósforo a lo largo de la red de drenaje. Una vez obtenido el raster de caudal circulante, para el cálculo de las concentraciones de materia orgánica y fósforo en cada celda (pixel) del modelo se parte de la siguiente información:

- Celdas en las que existen embalses y volumen embalsado (hm³)
- Temperaturas en cada celda
- Localización e intensidad de los vertidos (hab-eq)
- Caudal medio anual circulante (hm³/año)

El modelo obtiene la degradación de la materia orgánica, a partir de un raster de coeficientes de decaimiento k variables y un raster distribuido de temperaturas medias, utilizando la fórmula del decaimiento mediante cinética de primer orden de la materia orgánica:

$$C = C_o \cdot e^{-k \cdot dist}$$

Donde

$$k = k_b \cdot \theta^{(T-20)}$$

“ k ” es la constante de degradación de la materia orgánica (km⁻¹) en función de la temperatura, obtenida a partir de la fórmula de Arrhenius, siendo k_b la constante de degradación a 20°C. (normalmente k_b está comprendida entre 0,01 – 0,1 km⁻¹) y T la temperatura en grados centígrados. Para la degradación de materia orgánica se toma normalmente un valor del parámetro de 1,047 (Chapra, 1997, p. 40). En los embalses se produce una degradación acelerada de la materia orgánica que se introduce en el cálculo de forma simplificada considerando un incremento de la longitud recorrida.

3.5 Modelo de exceso de detracciones

El modelo simula las extracciones de caudal para la atención de las demandas respecto al recurso natural.

En la Figura 6 pueden observarse las masas de agua afectadas por los descensos de caudal, el indicador utilizado para dibujar el mapa (los colores atribuidos a las masas de agua), se obtiene como el cociente entre el modulo natural anual y el caudal anual circulante. Así, los colores representan porcentajes de detracción total anual en la masa. No refleja acciones de cambios en el régimen por regulación o por otras alteraciones del régimen que se salden anualmente, y que, en algunas zonas y masas de agua, llegan a ser muy significativas.

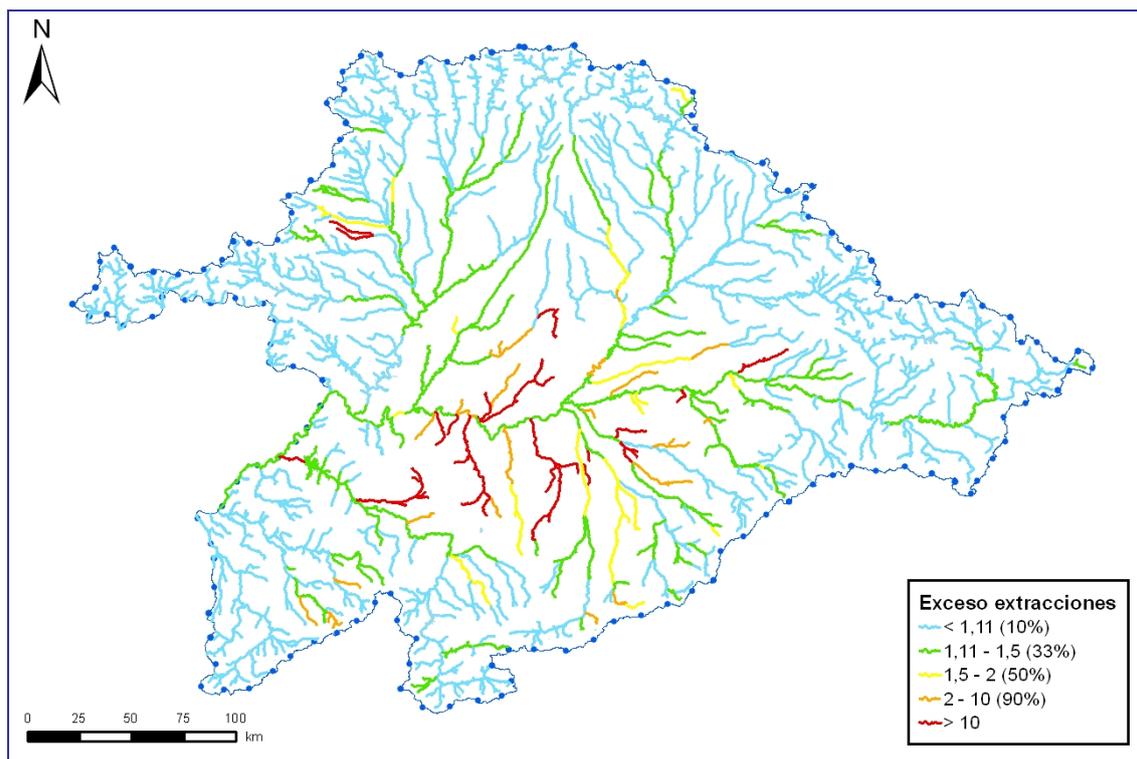


Figura 6. Extracción de caudal sobre las masas de agua superficiales

4. CALIBRACIÓN

Los resultados obtenidos con Geoimpress se han calibrado con la Red ICA (Red Integral de Calidad de las Aguas).

La metodología de calibración consiste en minimizar la diferencia entre los resultados del modelo y los medidos, a través del uso de diferentes “k” de decaimiento en las cuencas de drenaje asociadas a las estaciones ICA para la calibración.

Se considera que la concentración de contaminante en una masa de agua superficial está calibrada cuando la diferencia entre el resultado del modelo y la concentración medida en la estación de la Red ICA es inferior al 10% de la media.

Debido a la insuficiencia de puntos de control de la Red ICA, la calibración únicamente se realiza en las masas de agua que tienen asociada una estación de este tipo o en las masas que tienen una estación de control aguas abajo.

5. PRESENTACION DE RESULTADOS

Dado que los valores de concentración de contaminante se muestran por masa de agua superficial y los resultados de las concentraciones son imágenes raster (formados por celdas), el último paso es convertir la capa lineal de masas de agua a una capa de puntos para que los valores de las celdas con la concentración se puedan extraer a los puntos correspondientes de las masas de agua.

Tanto para la concentración de materia orgánica como para la de fósforo, se toma como valor representativo del estado de cada masa de agua la media de los valores de los píxeles que conforman la masa. Otros estadísticos, como la mediana o el percentil 70, se analizaron para comprobar su bondad en los distintos escenarios.

6. ESCENARIOS DE SIMULACIÓN

Una vez calibrada la situación actual se configuran distintos escenarios en función de los ET: situación actual, ET 2015, ET 2021 con mejoras adicionales en el tratamiento de los vertidos y ET 2027.

Se modelan los vertidos de materia orgánica y fósforo en distintos escenarios:

1. **P y DBO₅ en situación actual.** Se emplea el caudal circulante para la situación actual (serie corta) y el tipo de tratamiento que tienen incorporado las EDAR actualmente, para ello se ha relacionado el tipo de depuración del vertido tal y como se indica en la base de datos del Área de Calidad de la CHD, con el tipo de tratamiento que marca la IPH. El resultado de las concentraciones de P y DBO₅ por masa de agua puede observarse en las siguientes figuras (7 y 8):

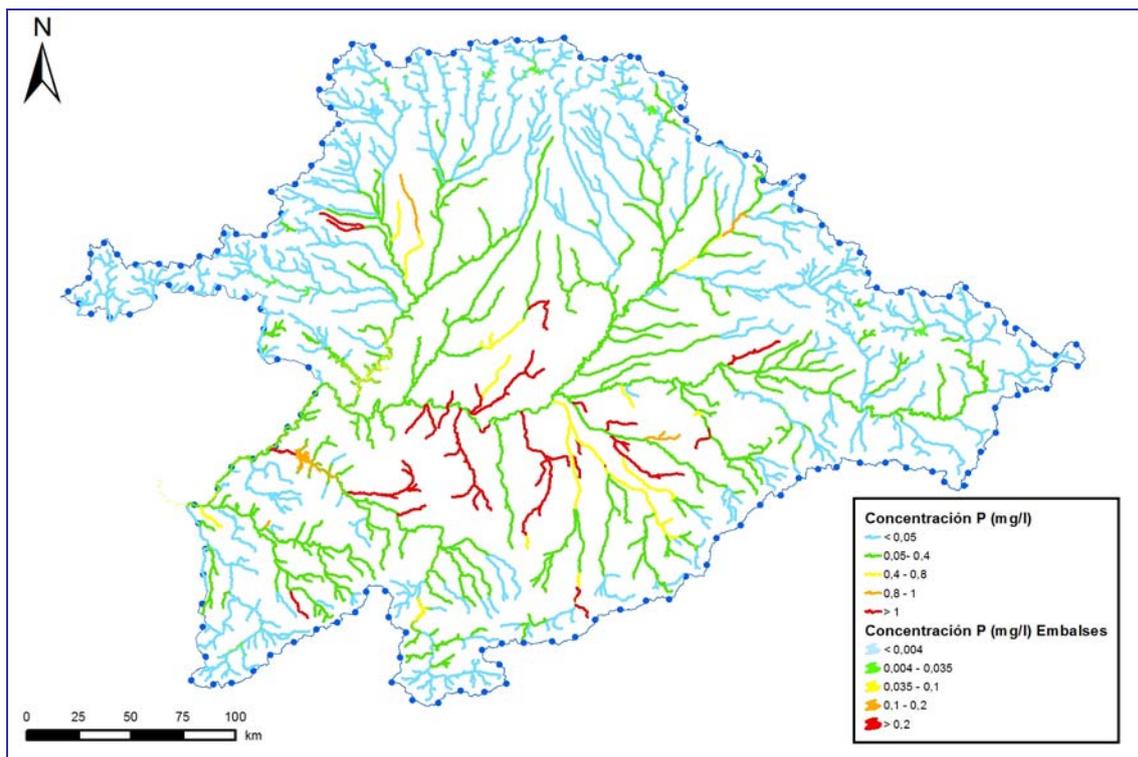


Figura 7. Concentración de fósforo (mg/l) en las masas de agua superficiales en la situación actual

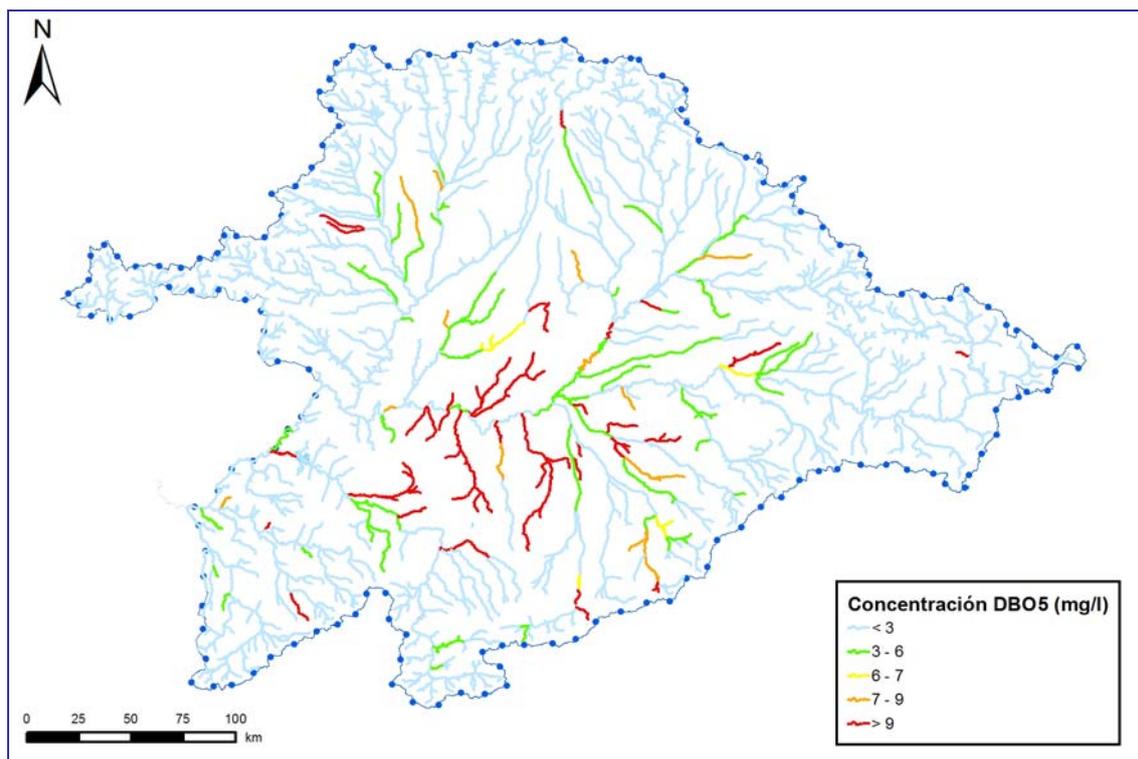


Figura 8. Concentración de materia orgánica (mg/l) en las masas de agua superficiales en la situación actual

2. **P y DBO₅ en el escenario 2015 sin medidas.** A partir de las aportaciones en régimen natural de la serie corta y las detracciones y retornos estimados para el año 2015 se obtiene un caudal circulante estimado para ese año. El volumen de las cargas contaminantes varía en función de las previsiones de crecimiento de la población. No se prevé ninguna mejora en el tratamiento de los efluentes.

Se ha representado en las figuras 9 y 10, respectivamente.

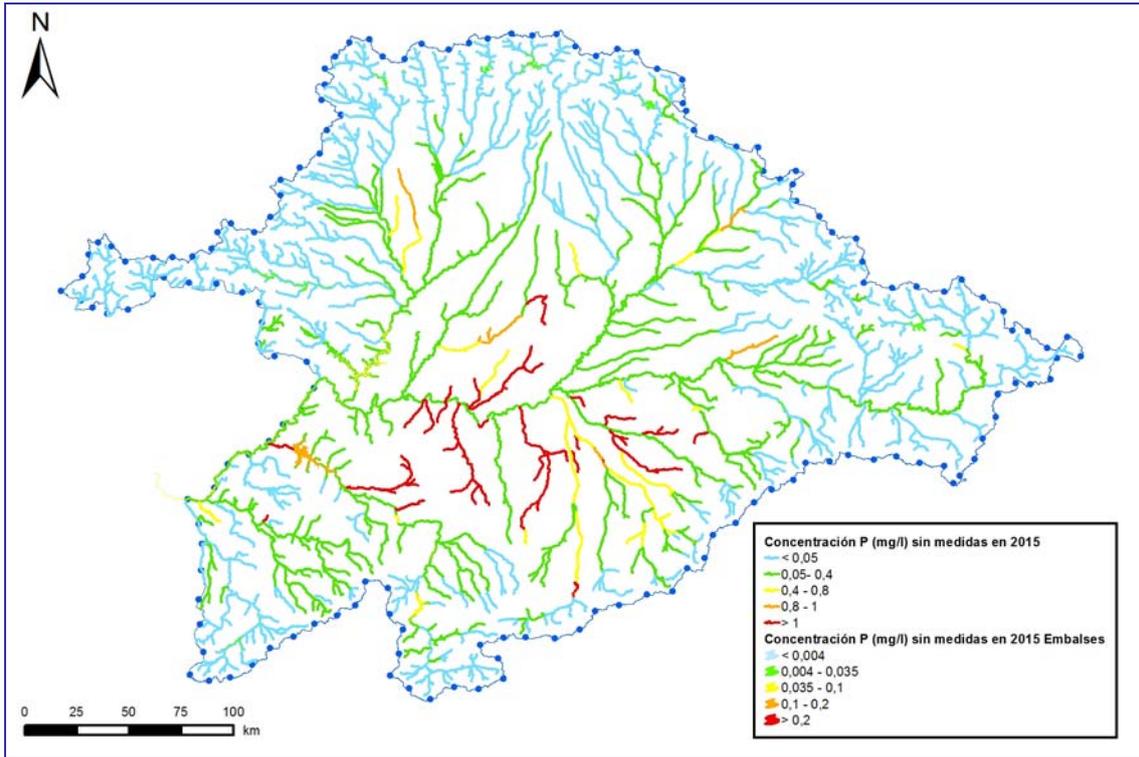


Figura 9. Concentración de fósforo (mg/l) en las masas de agua superficiales en el escenario 2015 sin mejoras en el tratamiento de los efluentes

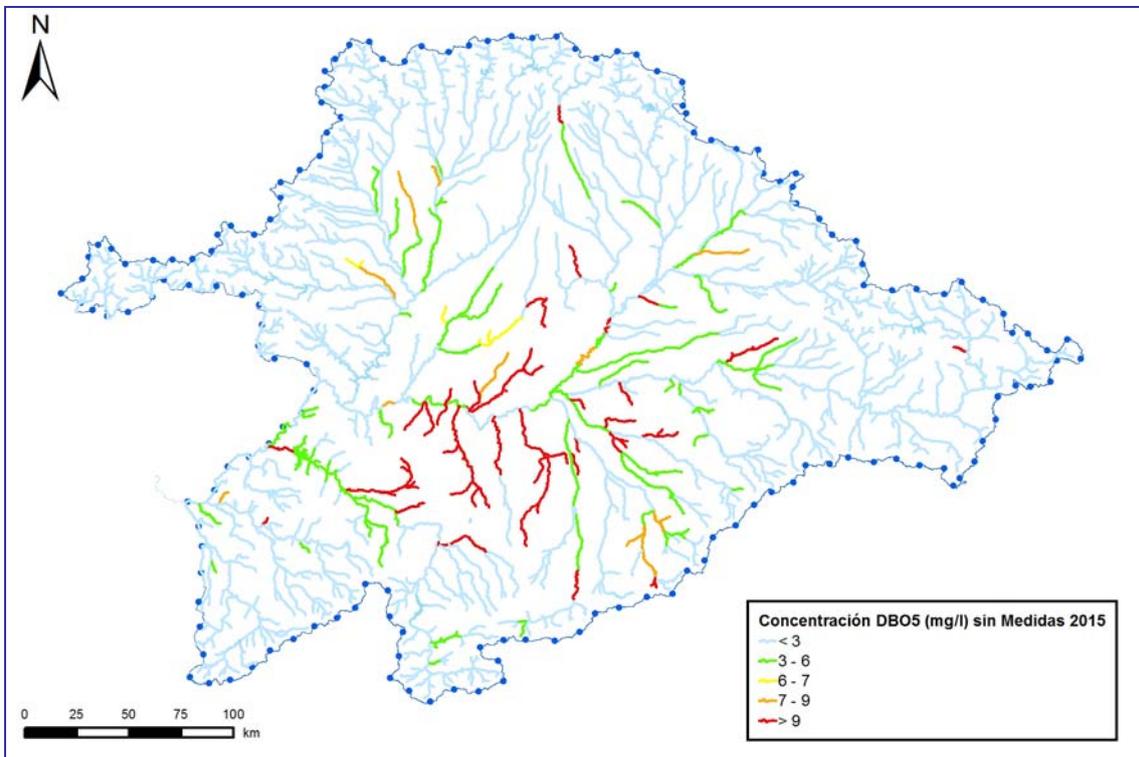


Figura 10. Concentración de DBO₅ (mg/l) en las masas de agua superficiales en el escenario 2015 sin mejoras en el tratamiento de los efluentes

3. **P y DBO₅ en ET 2015.** Se utiliza el mismo caudal circulante que en el caso anterior. El volumen de las cargas contaminantes varía en función de las previsiones de crecimiento de la población.

En este escenario se modelan los efluentes de las aglomeraciones urbanas con las medidas necesarias de acuerdo al cumplimiento de la Directiva 91/271/CEE:

- Para las aglomeraciones urbanas de más de 2.000 hab-eq se dispone un tratamiento secundario.
- Para las aglomeraciones de más de 10.000 hab-eq que vierten a zonas sensibles se dispone un tratamiento más riguroso.
- Para los vertidos cuya carga es inferior a 2.000 hab-eq, que deben tener un tratamiento “adecuado”, se ha dispuesto que todos los núcleos que en la actualidad no tienen tratamiento tengan un tratamiento primario en el horizonte del PHD (año 2015).

Por otro lado, se ha utilizado la información relativa al estado de depuración de estos núcleos disponible en la base de datos de vertidos del Área de Calidad de la CHD y se han realizado las mejoras necesarias en el tipo de tratamiento para el escenario del año 2015 teniendo en cuenta la adecuación del grado del tratamiento y el tipo de depuración en la actualidad. Es decir, si el vertido es adecuado no se prevé ninguna medida y si el vertido no lo es, se prevé una mejora en el tratamiento.

Se representa en las Figuras 11 y 12, a continuación:

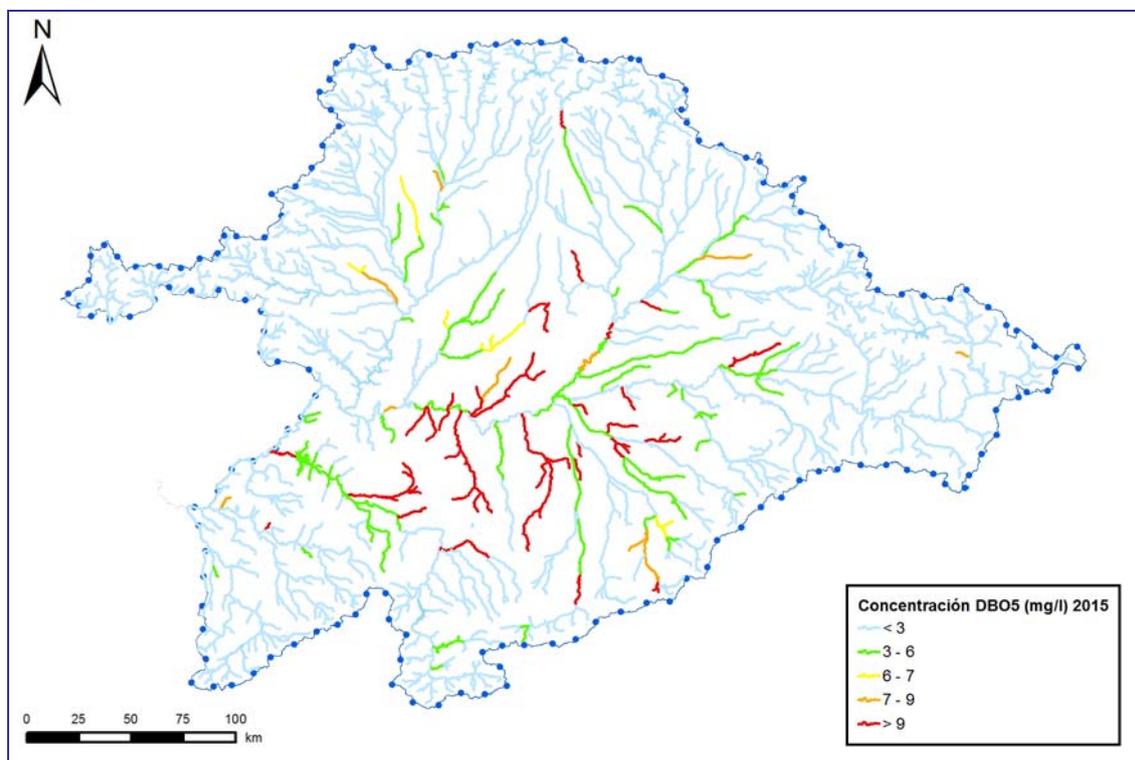


Figura 11. Concentración de fósforo (mg/l) en las masas de agua superficiales en el escenario 2015 con mejoras en el tratamiento de los efluentes

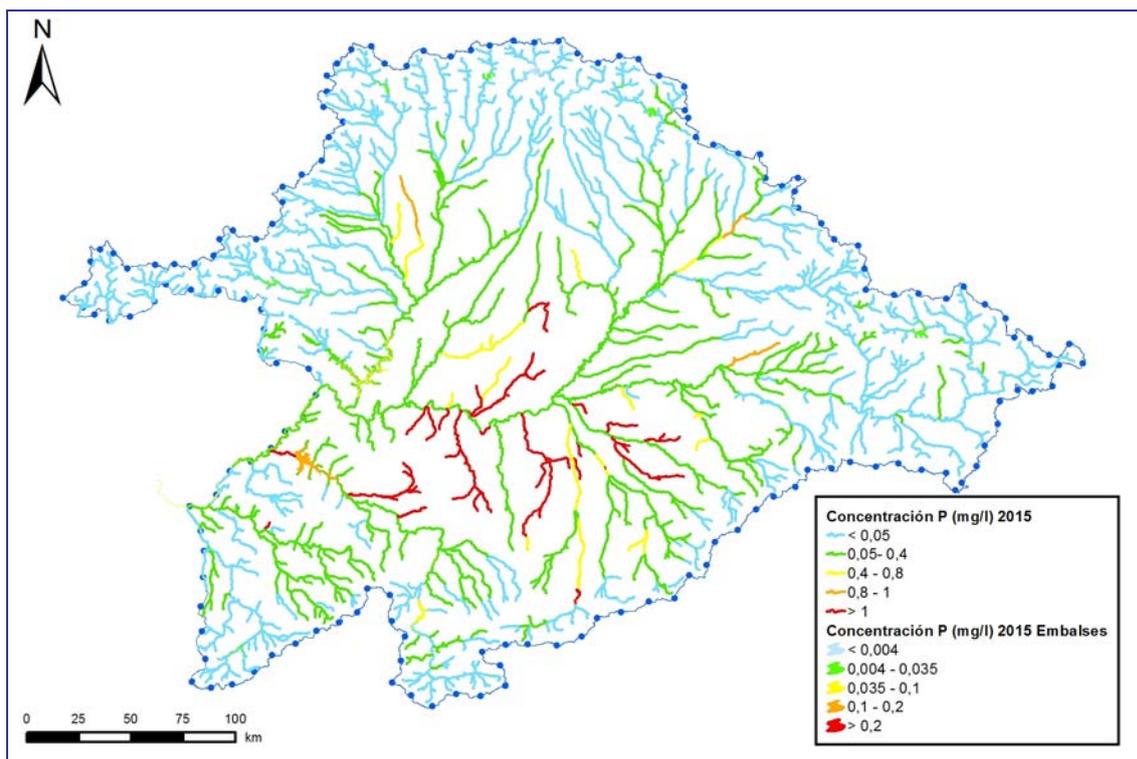


Figura 12. Concentración de DBO₅ (mg/l) en las masas de agua superficiales en el escenario 2015 con mejoras en el tratamiento de los efluentes

4. **P y DBO₅ en ET 2015 con medidas adicionales.** Debido a que utilizando el caudal circulante estimado para 2015 y los tratamientos de efluentes urbanos considerados en el caso anterior aun continúan existiendo una serie de masas con altos niveles de concentración, se decide implementar en la simulación una mejora adicional. Dicha mejora consiste en optimizar los tipos de tratamiento de los vertidos ubicados sobre cuencas vertientes a masas de agua superficiales con altos niveles de concentración de fósforo y/o materia orgánica.

Las medidas adicionales consisten en mejorar el tipo de depuración respecto al tipo de tratamiento del ET 2015 (de primario a secundario, de secundario a más riguroso o de primario a más riguroso). Para realizar estos ajustes se ha tenido en cuenta la adecuación del grado del tratamiento y el tipo de depuración.

El resultado de estas mejoras en la depuración puede verse en la concentración de DBO₅ y P de la Figura 13 y 14 respectivamente.

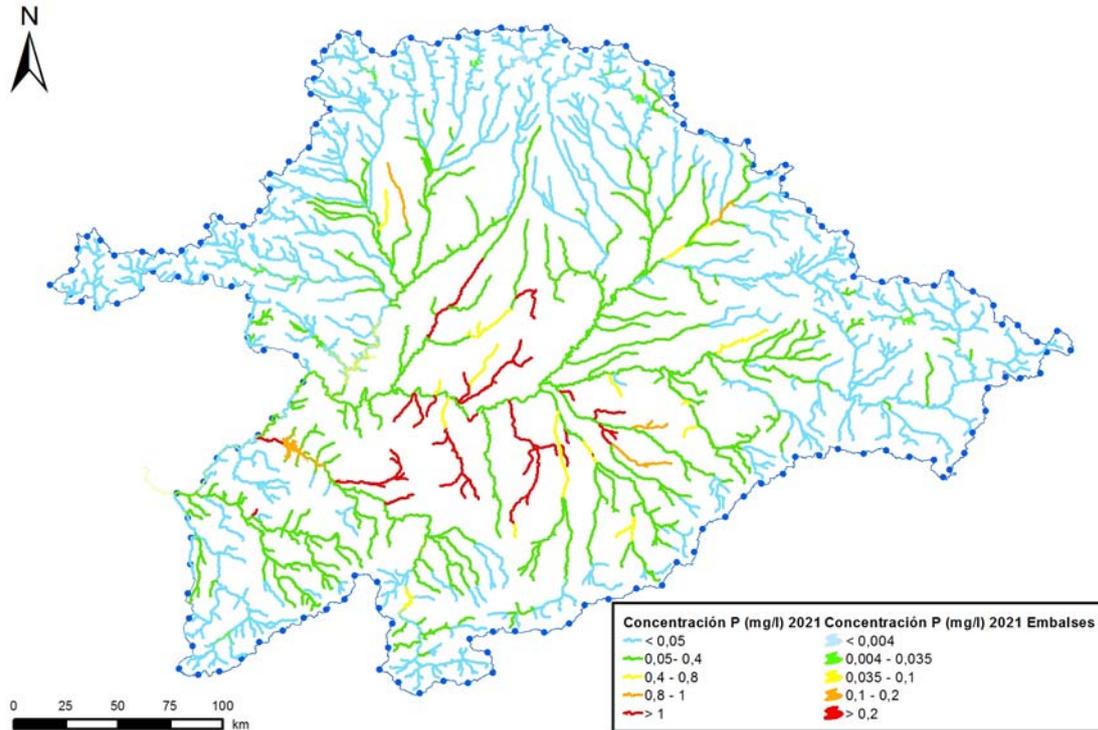


Figura 13. Concentración de fósforo (mg/l) en las masas de agua superficiales en el escenario 2021 con medidas adicionales

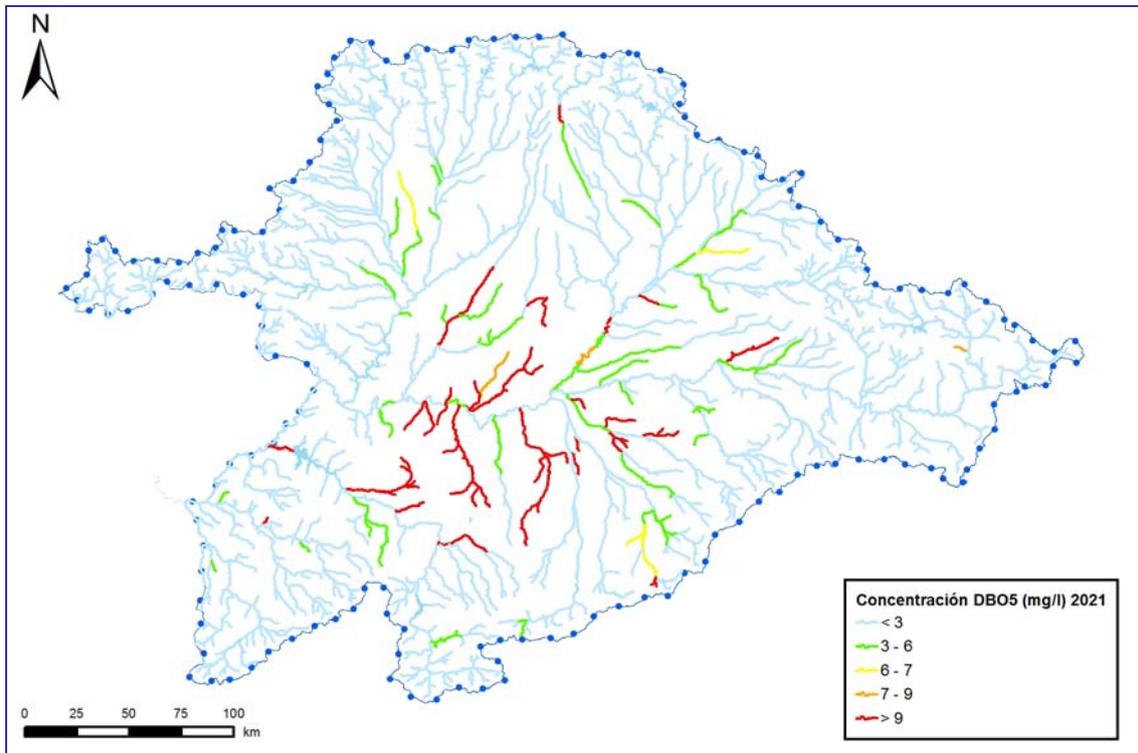


Figura 14. Concentración de materia orgánica (mg/l) en las masas de agua superficiales en el escenario 2021 con medidas adicionales

5. **P y DBO₅ en el escenario 2027.** Se utiliza el caudal circulante estimado para 2027 (creado a partir de una disminución de un 6% en las aportaciones en régimen natural de la serie corta) que incluye detracciones y retornos estimados para el año 2027. La carga de los vertidos varía en función de las previsiones de crecimiento de la población para dicho año y el tipo de tratamiento simulado mantiene las medidas adicionales del apartado anterior.

El resultado de esta simulación aparece representado en los mapas de la Figura 15 y de la Figura 16.

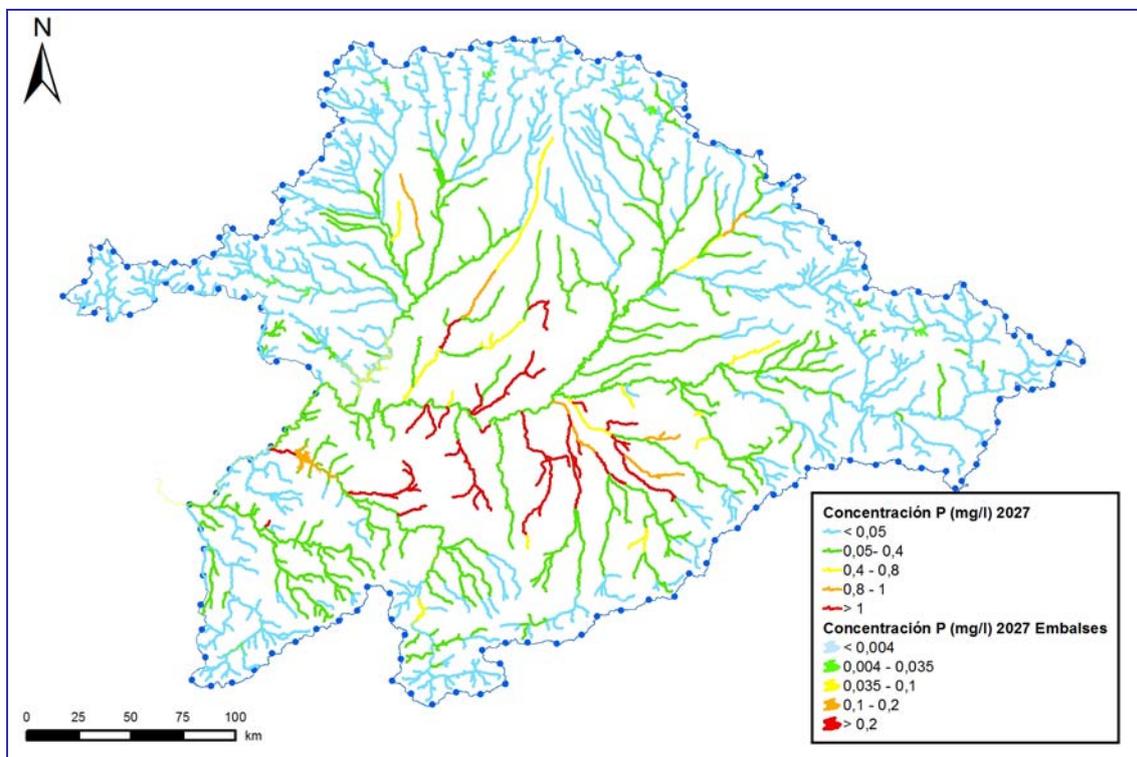


Figura 15. Concentración de fósforo (mg/l) en las masas de agua superficiales en el escenario 2027 con medidas adicionales

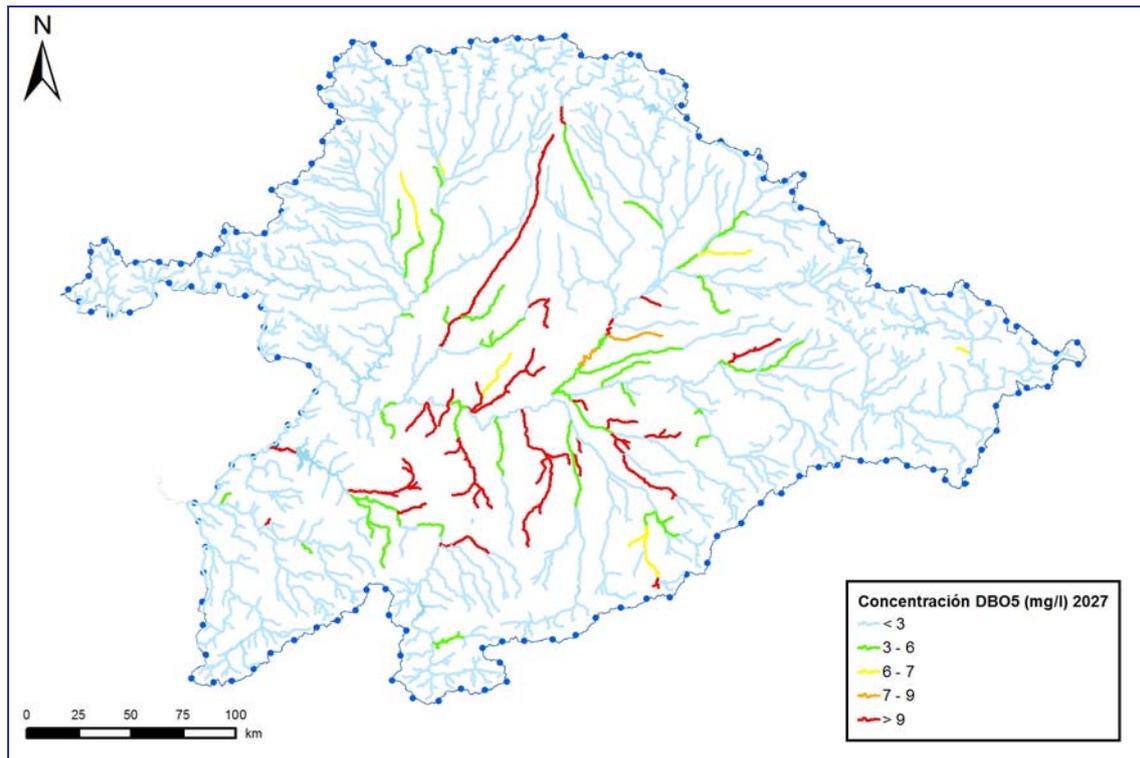


Figura 16. Concentración de materia orgánica (mg/l) en las masas de agua superficiales en el escenario 2027 con medidas adicionales