

## **APÉNDICE 4. SISTEMA PATRICAL**



## APÉNDICE 4. SISTEMA PATRICAL

### 1. INTRODUCCIÓN

En este Apéndice se presenta un resumen del Informe “Definición de la concentración objetivo de nitrato en las masas de agua subterráneas de las cuencas intercomunitarias. Borrador v.2” (2009, Instituto de Ingeniería del Agua y Medio Ambiente de la Universidad Politécnica de Valencia –UPV- y Tragsatec S.A.).

Un importante número de masas de agua subterráneas en España tienen elevadas concentraciones de nitrato. La inversión de tendencias, la estabilización y la corrección de las concentraciones está suponiendo un importante esfuerzo, iniciado con la aplicación de los programas de acción aprobados por las Comunidades Autónomas, cuyos efectos se irán observando durante los próximos años, llegando en algunos casos a décadas.

El análisis de la recuperación de las concentraciones de nitrato hasta valores que cumplen los objetivos de la normativa al respecto requiere tener en cuenta la inercia de los acuíferos y analizar largos períodos de tiempo. Por ese motivo la única forma de abordar cuál será la evolución de estas concentraciones futuras de nitrato es mediante el empleo de modelos de simulación que en primer lugar reproduzcan la evolución histórica reciente. La simulación de diferentes escenarios permite conocer la evolución futura global de la concentración media de nitrato en cada una de las masas de agua subterráneas analizadas, para las hipótesis consideradas.

La metodología seguida para analizar las concentraciones futuras de nitrato en las masas de agua subterráneas se basa en la simulación de una serie de escenarios futuros, que determinen los rangos de variación de esta concentración. Los resultados de estos escenarios permitirán definir las causas, en los casos que se produzcan, del incumplimiento de los objetivos ambientales, como por ejemplo la imposibilidad física, debida a la gran inercia de los acuíferos.

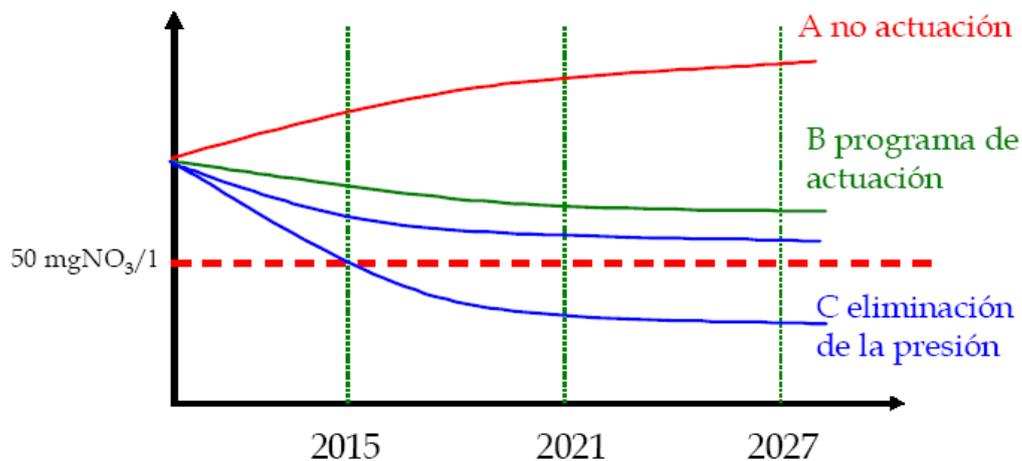


Figura 1. Ejemplo del resultado obtenido tras la aplicación de diferentes escenarios futuros

Para ello se utilizan dos modelos de forma secuencial: el primero, es un modelo de balance de nitrógeno en el suelo, que proporciona el exceso de nitrógeno disponible o que puede ser arrastrado por el agua; y el segundo modelo, reproduce el transporte de nitrato a través del ciclo hidrológico. Las principales características y resultados que proporcionan cada uno de los modelos se describe a continuación:

- 1- **Modelo de balance de nitrógeno en el suelo:** realiza el balance de aportes y salidas de nitrógeno a escala municipal, proporcionando como resultado el exceso de nitrógeno en el suelo a escala municipal. Los resultados de exceso de nitrógeno a escala municipal se localizan espacialmente dentro del municipio mediante el mapa de usos de suelo Corine Land Cover del año 2000.
- 2- **Modelo de transporte de nitrógeno,** en forma de nitrato, a través del ciclo hidrológico, modelo Patrical, (Pérez 2005): realiza la simulación del ciclo hidrológico con el transporte de nitrato a través

del mismo, de forma distribuida con una resolución de 1 km x 1 km. Los datos de partida son los resultados del modelo anterior georeferenciados espacialmente con el Corine Land Cover. Los resultados que proporciona son la concentración de nitrato en las masas de agua subterráneas y en las masas de agua superficiales, de origen agrícola y ganadero.

## 2. MODELO DE BALANCE DE NITRÓGENO EN EL SUELO

El balance de nitrógeno en el suelo, se obtienen mediante utilización a escala municipal de la información disponible de todas las fuentes de aporte de nitrógeno, fertilización, deposición, etc..., y de salidas que se producen en el mismo, extracción de la vegetación, volatilización, etc... El balance de nitrógeno en el suelo a escala municipal con el cual se determina el exceso de nitrógeno en el suelo, se realizó en primer lugar para el año 2004 “Balance de Nitrógeno en la Agricultura Española. Año 2004” (MAPYA, 2005) donde se detalla el procedimiento realizado para la determinación del balance de nitrógeno a escala municipal para el año 2004.

El modelo planteado se basa en la realización del balance, cada año, entre todos los aportes y salidas de nitrógeno que se producen por término municipal. Los aportes de nitrógeno considerados en su aplicación son:

- Aplicación de fertilizantes inorgánicos y orgánicos en la agricultura de secano y de regadío.
- Sobrantes de fertilizantes orgánicos (que se corresponden con la porción de estiércoles generados por la ganadería y que no se aplican en la agricultura).
- Estiércoles del ganado en pastoreo.
- Nitrato aportado por las aguas de riego.
- Nitrógeno aportado por las semillas vegetales.
- Nitrógeno introducido por la fijación biológica de las bacterias.
- Deposición atmosférica del nitrógeno con la precipitación.

Las extracciones de nitrógeno que se han considerado son:

- Extracción de nitrógeno por los cultivos.
- Volatilización del ión amonio + 4 NH a la atmósfera.
- Desnitrificación del ión de nitrato – 3 NO y su incorporación a la atmósfera.

Posteriormente, y partiendo del año 2004 como año de referencia, se ha realizado la reconstrucción del exceso de nitrógeno anual desde el año 1996 hasta el año 2006 (MARM, 2008), a partir de los censos provinciales.

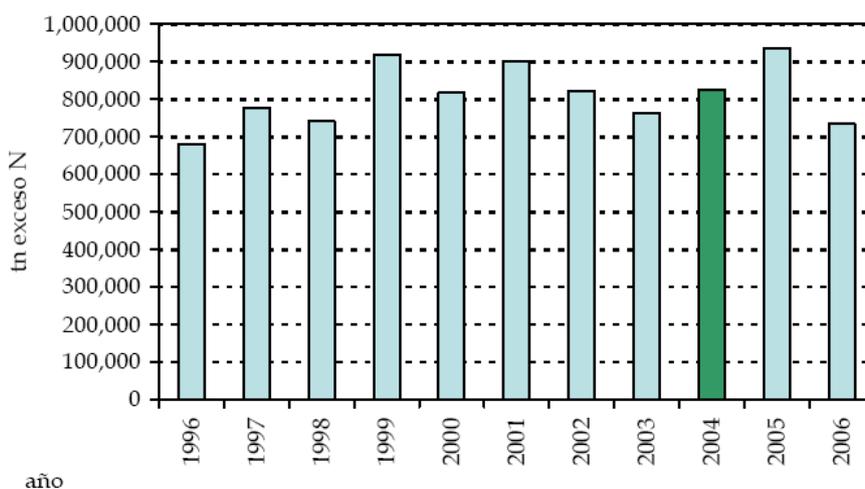


Figura 2. Reconstrucción histórica del exceso de nitrógeno (tn de nitrógeno/año)

A partir de los valores de exceso de nitrógeno del periodo 1996-2006, se ha reconstruido la serie temporal de exceso de nitrógeno desde el año 1971 hasta la actualidad.

### 3. MODELO DE TRANSPORTE DE NITRÓGENO

El módulo de simulación utilizado es “Patrical” (Precipitación Aportación en Tramos de Red Integrados con Calidad del Agua), que permite construir modelos del ciclo hidrológico y calidad de las aguas distribuidos espacialmente, con paso de tiempo de simulación mensual (Pérez, 2005).

Este modelo ha sido aplicado a las masas de agua a nivel nacional en el marco de un Convenio de investigación entre la empresa Tragsatec y el Instituto de Ingeniería del Agua y Medio Ambiente de la Universidad Politécnica de Valencia, con fondos de la Subdirección General de Planificación y Uso Sostenible de la DGA del MARM.

Los modelos que se construyen realizan la simulación del ciclo hidrológico, en régimen natural o en régimen alterado, por la actividad antrópica, aplicando la formulación de Témez (1977) en cada pequeño elemento (p.e. resolución de 1 km x 1 km) en que discretiza la cuenca hidrográfica, incluyendo la menor posibilidad de evapotranspiración de la vegetación con contenidos bajos de humedad en el suelo, las transferencias laterales entre acuíferos, el movimiento del agua a través de la red fluvial, las relaciones río-acuífero (incluyendo la posibilidad de pérdidas en cauces), y la evolución de la piezometría media de los acuíferos.

El módulo “Patrical” puede funcionar, como se ha indicado, en régimen natural o en régimen alterado antrópicamente. En este último caso incluye la evolución temporal y distribución espacial de los retornos de riego que recargan los acuíferos, y las extracciones de aguas subterráneas (agrícolas y urbanas), y adicionalmente, para el caso de simulación de la calidad del agua, también los retornos de riego superficiales y los retornos urbanos superficiales. Debe tenerse en cuenta que el modelo reproduce el ciclo hidrológico natural y parte del ciclo hidrológico alterado, ya que no incluye la gestión de embalses ni las modificaciones que se producen en el régimen de caudales por los mismos.

La comparación entre los caudales circulantes y niveles piezométricos en régimen natural y en régimen alterado, cuando se consideran los bombeos y las recargas de riego al acuífero, se obtienen las modificaciones que se producen en la parte subterránea del ciclo hidrológico y cómo afectan estas modificaciones a los caudales superficiales. Estos resultados permiten: mejorar el conocimiento de los flujos de agua que se producen en el ciclo hidrológico, reconstruir el régimen natural de aportaciones, conocer las interconexiones del subsistema subterráneo y superficial, obtener los efectos que se producen en los caudales circulantes en los ríos, etc. Además, los resultados pueden enlazarse con modelos de simulación de la gestión, en el caso de que estos modelos, para mayor sencillez de los mismos, no hayan considerado estas afecciones.

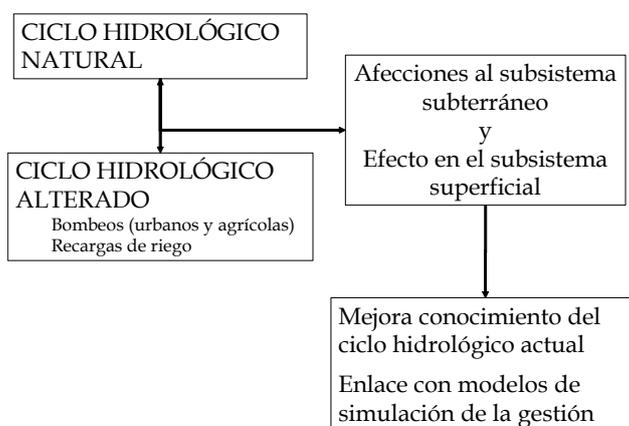
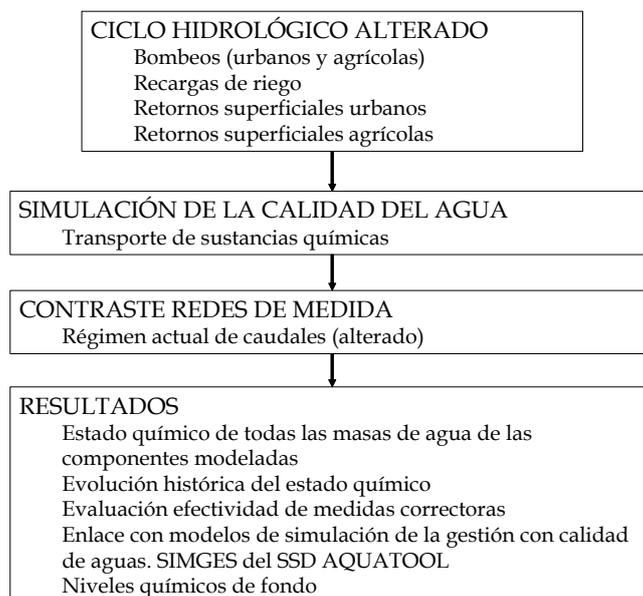


Figura 3. Régimen natural y régimen alterado en la componente subterránea y evaluación de afecciones

En el caso de la utilización de los modelos construidos para la simulación de la calidad del agua y del transporte de sustancias químicas, se incluyen los retornos superficiales urbanos y agrícolas, ya que de esta forma el resultado obtenido se aproxima en mayor medida al régimen de caudales histórico del que se disponen muestreos de los diferentes parámetros de calidad del agua. Los resultados de concentraciones químicas de las sustancias en el agua, permiten conocer el estado químico del agua y cómo los diferentes aportes de sustancias químicas, ya sean de origen antrópico o de origen natural, alcanzan la red fluvial y los acuíferos. El modelo permite conocer a partir de la información de las diferentes fuentes de contaminación o de aportes naturales distribuidos espacialmente en la cuenca hidrográfica, ya sean puntuales o difusos, cómo se transportan las sustancias químicas por la cuenca hidrográfica, y cómo alcanzan las masas de agua superficiales y subterráneas.

Los resultados de calidad del agua obtenidos con el modelo de simulación tienen las siguientes utilidades (Figura 4):

- Conocer el estado químico de los parámetros modelados, nitratos y conductividad eléctrica del agua, de todas las masas de agua de la cuenca hidrográfica, tengan datos históricos muestreados o no, y de esta forma detectar las zonas con valores elevados o normales.
- Esclarecer cuáles son los agentes causantes, o el origen, del estado químico de las masas de agua.
- Conocer la evolución histórica de los diferentes parámetros químicos modelados, detectando zonas con tendencia a tener mayores o menores concentraciones de estas sustancias.
- Plantear medidas correctoras para mejorar el estado químico, y evaluar cuantitativamente la eficacia de esas medidas.
- Obtener series históricas de caudales y de los diferentes parámetros de calidad.
- Conocer los niveles de fondo, es decir la concentración de sustancias químicas de origen natural, mediante la simulación sin afecciones de tipo antrópico.



**Figura 4. Metodología para la simulación de la calidad del agua, resultados y aplicaciones**

La simulación de la calidad del agua incluye: el transporte de nitrógeno, en su forma movilizable “nitrato”; la generación de erosión y el transporte de sólidos; el transporte de fósforo, y la conductividad eléctrica del agua a 25 °C. Para estos parámetros se consideran, tanto los focos de contaminación o generación puntual, como los difusos.

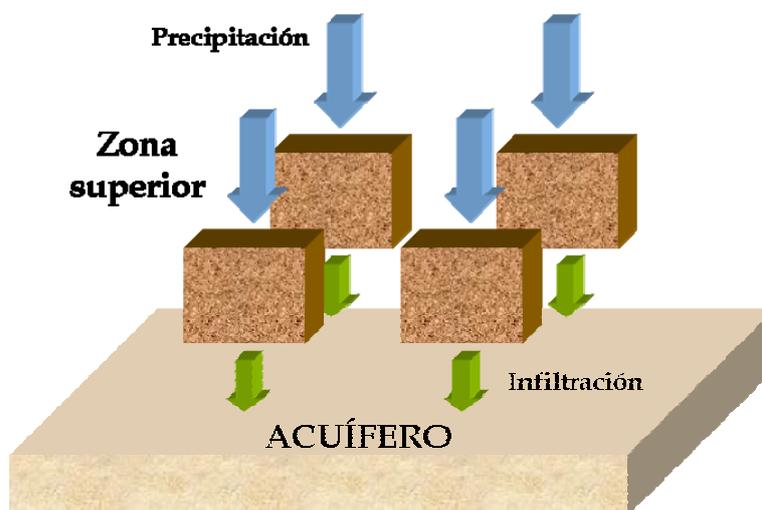
### 3.1 Módulo hidrológico

La aplicación del módulo desarrollado se realiza mediante la discretización de la cuenca hidrográfica en celdas de pequeño tamaño (p.e. 1 km x 1 km, aunque puede variarse esta configuración en función del tamaño de la

cuenca, de la capacidad de procesamiento de los equipos informáticos y del tiempo de cálculo de la simulación), donde se ajusta, en función de las características fisiográficas propias de cada una de ellas un modelo conceptual de pocos parámetros, el modelo de Témez (1977), que está basado a su vez en el modelo del Número de Curva del Soil Conservation Service (SCS, 1954).

La cuenca que se modela se divide en dos capas o zonas en vertical (Figura 5): una zona superior, formada por la superficie del terreno y discretizada en celdas; y una zona inferior, formada por los acuíferos que, de forma agregada, reciben agua de las celdas superiores. Estas zonas se caracterizan porque:

- La zona superior representa la superficie del terreno hasta donde alcanza la capacidad de extracción de agua de la vegetación, y se corresponde con la parte de la zona no saturada, donde en sus poros coexisten el agua y el aire, y su contenido de agua es asimilable a la humedad del suelo.
- La zona inferior, o acuífero, representa los almacenamientos de agua subterránea que se producen en la cuenca, se encuentra saturada y las salidas de agua que se producen de la misma son: el desagüe a la red de drenaje superficial, las salidas directas al mar y las transferencias laterales entre acuíferos.

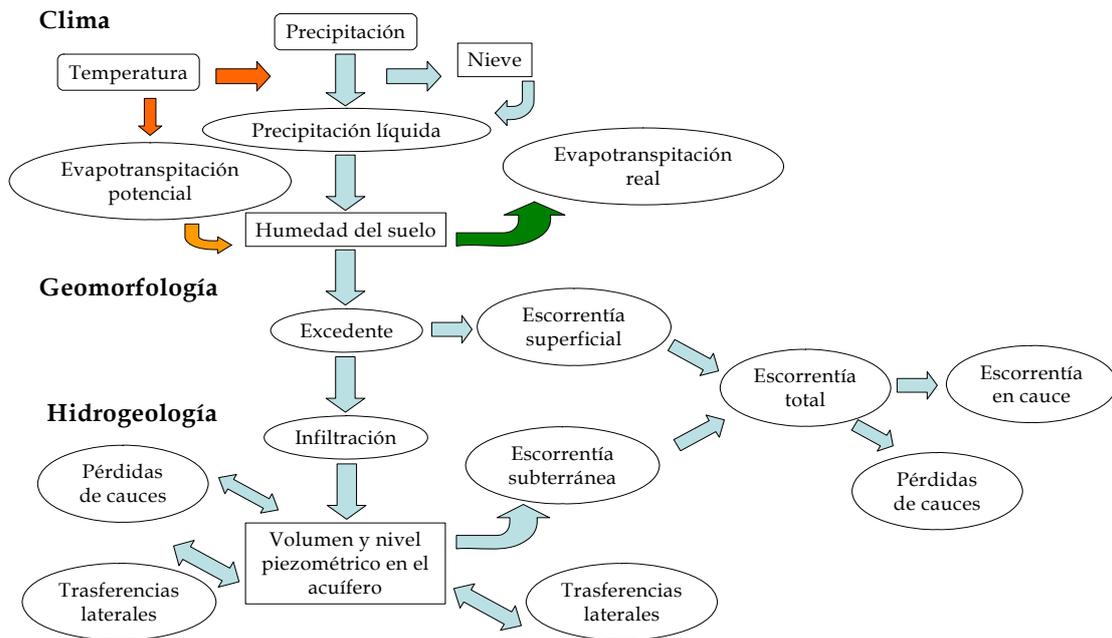


**Figura 5. Modelación del ciclo en dos capas, zona superficial y zona profunda o acuífero**

El modelo es de tipo conceptual, de paso de tiempo mensual, y reproduce los principales flujos y almacenamientos de agua del ciclo hidrológico en cada una de las celdas en que se ha discretizado la cuenca, preservando en todo momento el principio de continuidad o de conservación de la masa. La

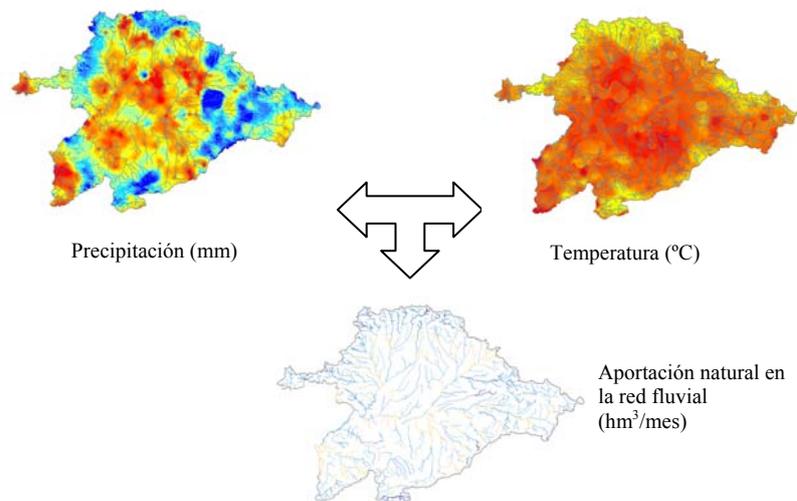
Figura 6 describe las componentes del modelo, donde los rectángulos representan almacenamientos, las elipses flujos de agua, y los rectángulos con bordes suavizados son las variables de entrada al modelo.

Los datos iniciales necesarios para el posterior funcionamiento del modelo de simulación son los valores de lluvia total mensual y de temperatura diaria media mensual, procedentes de las estaciones meteorológicas, con los cuales se calcula por interpolación los mapas mensuales de lluvia y temperatura, del que se derivan los mapas de evapotranspiración potencial mensual. Los mapas mensuales de precipitación y de evaporatransporación potencial son la información de partida para el modelo de simulación y se calcula: en primer lugar, la porción de lluvia líquida que cae en cada celda, manteniéndose el resto en forma de nieve sobre la superficie de terreno; en segundo lugar, con dicho valor de lluvia líquida y con las características fisiográficas de la cuenca en cada celda mediante la formulación de Témez: el flujo de excedente generado, la evaporación real producida y el volumen de humedad retenido por el terreno. El excedente, a su vez, se descompone en escorrentía superficial directa y en infiltración a los acuíferos, que interactúan entre sí y se transfieren agua en función de las diferencias de altura piezométrica que tengan. Finalmente, los acuíferos generan la escorrentía subterránea que se suma a la escorrentía superficial formando la escorrentía total, que se acumula a través de la red de drenaje de la cuenca y permite conocer el volumen de agua en cada tramo de la red de drenaje, del que se calcula la reinfiltración a los acuíferos y se obtiene la escorrentía en los cauces.



**Figura 6. Esquema de flujo del modelo conceptual del ciclo hidrológico Patricial**

El modelo lluvia-escorrentía utiliza los registros históricos de información de la lluvia total mensual y los registros históricos de las temperaturas diarias medias del mes, con los que mediante interpolación, los mapas de lluvia mensual distribuida y de temperatura media distribuida, los cuales se introducen como datos en el modelo de simulación para reproducir el ciclo hidrológico, que obtiene, como resultados, los mapas de aportación generada en cada punto de la cuenca. Con los resultados de aportación generada en cada celda se calculan, mediante su desplazamiento a través de la red de drenaje, las aportaciones en cada punto de la red fluvial y las pérdidas en cauces. Finalmente de cada acuífero se obtienen los volúmenes de agua almacenados, transferidos, salidas al mar, y niveles piezométricos, tanto en régimen natural como en régimen alterado.



**Figura 7. Precipitación temperatura y aportación en la red fluvial en mayo de 2006 en la parte española de la DHD**

## 2.1 Módulo de calidad del agua

La variabilidad temporal de los recursos hídricos y la evolución histórica de los usos de agua y de los focos de contaminación, son determinantes para la situación físico-química de las masas de agua, tanto en la actualidad como en su evolución futura, por lo que es necesario utilizar modelos de simulación que incluyan estos efectos. Presiones antrópicas iguales en el medio pueden provocar impactos muy diferentes dependiendo de si la cuenca hidrográfica está en situación de sequía o no, de esta forma para obtener una evaluación cuantitativa de los efectos de las presiones ejercidas por la actividad humana en las masas de agua, es necesario utilizar un modelo de simulación que tenga en consideración los caudales circulantes y su variabilidad temporal, ya que la situación físico-química de las masas de agua depende fuertemente de la situación hidrológica de la cuenca y de su evolución histórica reciente.

El módulo desarrollado permite construir modelos de simulación mensual mediante los cuales se obtienen las concentraciones, en cada periodo de tiempo, de determinadas sustancias químicas en los caudales circulantes y en los acuíferos, y de esta forma poder contrastar los resultados con las redes de medida existentes.

La obtención de los resultados en todos los puntos de la cuenca hidrográfica y su contraste con las redes de medida permite identificar, con mayor detalle para los compuestos químicos analizados, las zonas de mayor problema en la cuenca, la situación en el resto de masas de agua, la tendencia producida en los últimos años, las interrelaciones existentes entre unos puntos de la cuenca y otros, los principales agentes generadores de ese impacto, y también la calidad de los datos muestreados disponibles.

Una vez conocidos y validados los resultados obtenidos con el modelo de simulación, podrán definirse los escenarios futuros de la presión humana y de los focos de contaminación, y cuantificar los efectos que producirán en el medio. De igual forma, podrán cuantificarse los efectos que producirán las medidas que tengan por objeto la reducción de los focos de contaminación.

Uno de los problemas más importantes de las cuencas españolas es la contaminación por nitratos, la cual se produce fundamentalmente: por la aplicación de fertilizantes en la agricultura; por la generación de estiércoles en la ganadería; y por los vertidos procedentes de las áreas urbanas.

Al módulo de simulación hidrológica se le han incorporado un módulo de simulación del transporte de nitratos por las diferentes zonas de la cuenca hidrográfica. Este transporte se produce a través de los flujos de agua obtenidos con la simulación hidrológica.

Cuando el origen del nitrato es agrícola y ganadero, es el principal foco de contaminación difusa, y su modelación se realiza a partir del exceso de nitrógeno que se produce por la fertilización orgánica e inorgánica de las zonas agrícolas, o por el exceso de nitrógeno que se produce en las zonas ganaderas y de pastoreo.

Para simular el transporte de sustancias químicas en la cuenca hidrográfica se definen tres zonas en la cuenca hidrográfica (Figura 8): la zona superficial del suelo, donde existe agua en forma de humedad del suelo y las sustancias químicas pueden ser arrastradas por la escorrentía superficial o por la infiltración al acuífero; el medio no saturado, formado por la porción de terreno desde el acuífero hasta donde alcanza la zona radicular de la vegetación y que varía a lo largo de la simulación en función del nivel piezométrico que exista en el acuífero; y el acuífero, medio saturado donde se ha considerado que se produce el mezclado total del agua. Esta definición atiende a los diferentes puntos donde se pueden depositar y acumular las sustancias químicas.

La formulación de modelo del transporte de nitratos se encuentra descrita en detalle en “Definición de la concentración objetivo de nitrato en las masas de agua subterráneas de las cuencas intercomunitarias”. (Tragsatec S.A. y Universidad Politécnica de Valencia. Mayo de 2009).

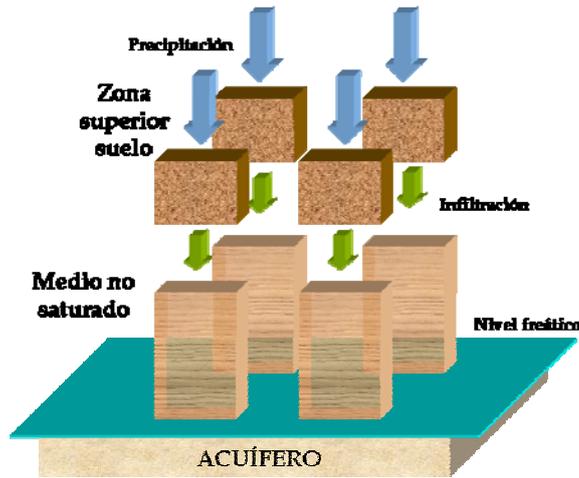


Figura 8. División del terreno para la simulación de la calidad química del agua

#### 4. ANÁLISIS Y PROPUESTA DE ESCENARIOS

La aplicación de los modelos de simulación consiste en primer lugar en la calibración del modelo de simulación del transporte de nitrato con los datos disponibles del periodo histórico (1971-2006), para ello se realiza la calibración del modelo hidrológico y la calibración del modelo de transporte de nitrato.

Un ejemplo de los resultados obtenidos (línea continua verde) que se contrastan con la redes de medida (puntos azules), se muestra a continuación, junto con el límite de 50 mgNO<sub>3</sub>/l y con el 75% de este objetivo de calidad que marca el punto de inicio de inversión de tendencias.

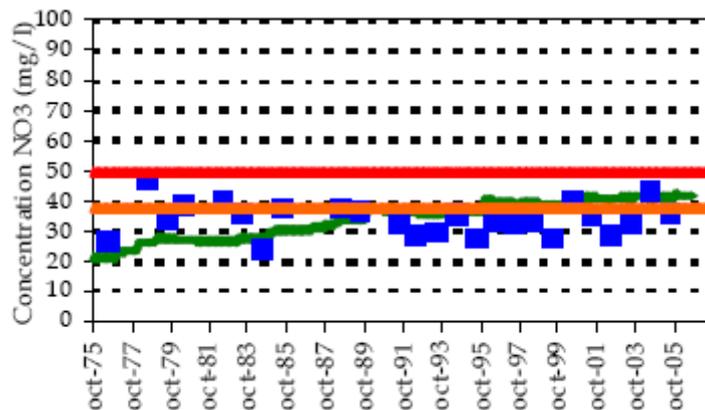


Figura 9. Concentración de nitrato en la masa de agua de Villafáfila

En segundo lugar, y una vez calibrado el modelo de simulación, se definen una series de escenarios futuros y realizan las simulaciones de estos escenarios, obteniendo los resultados futuros de concentraciones de nitrato asociados a los escenarios planteados.

Las características básicas de los escenarios futuros considerados consisten en la utilización de un único escenario hidrológico futuro para todos los escenarios de aplicación de fertilizantes que alcance el año 2027. A partir de este escenario hidrológico futuro se consideran tres escenarios con diferentes niveles de aplicación de fertilizantes en la agricultura, que son:

- 1) Escenario base, situación actual. Mantenimiento de las prácticas agrícolas actuales. El objetivo de este escenario es analizar las tendencias futuras de la concentración media de nitrato en las masas de agua subterráneas con las prácticas agrícolas actuales.

2) Escenario programas de acción: aplicación de dosis óptimas de fertilización en las zonas afectadas. El objetivo de este escenario es evaluar los programas de acción de las zonas vulnerables (Debido a que actualmente las aguas afectadas se encuentran en proceso de revisión, se ha considerado la aplicación de las dosis óptimas a todos los municipios).

3) Escenario de eliminación de la presión. Escenario “ideal” cuyo objeto es determinar el tiempo de recuperación de las masas de agua subterráneas a partir de las condiciones actuales.

A continuación, en la Tabla 1, se muestra el resultado del diagnóstico para las masas de agua subterráneas, incluido en el informe que resume el presente apéndice (Definición de la concentración objetivo de nitrato en las masas de agua subterráneas de las cuencas intercomunitarias. Borrador v.2”). En la tabla se indica:

- Los objetivos de concentración de nitrato para los años 2015, 2021 y 2027.
- El diagnóstico de cada una de las masas indicando si:
  - Cumple el objetivo de en el año 2015
  - Prorroga en el cumplimiento hasta el año 2021
  - Prorroga en el cumplimiento hasta el año 2027
  - O, si es necesaria la definición de objetivo menos riguroso
- Medidas asociadas a los objetivos definidos:
  - 1: se alcanzan los objetivos con las prácticas agrícolas actuales
  - 2: se alcanzan los objetivos con la aplicación de dosis óptimas de fertilización
- Puntual (\*): indica la posible existencia de problemas puntuales dentro de una masa de agua que globalmente tiene concentraciones bajas de nitrato.
- Tendencia: indica si las concentraciones medias de nitrato en la masa de agua tienen una tendencia creciente a pesar de tener concentraciones bajas en la actualidad.
- Adicional (\*): indica si son necesarias medidas adicionales a la aplicación de dosis óptimas de fertilización para conseguir el no deterioro en la concentración de nitrato de la masa de agua.

Masa	Sup (km <sup>2</sup> )	2015	2021	2027	Diagnóstico	Medidas	Puntual	Tendencia	Adicional
Guardo	2,231	5	5	5	Cumple en 2015	1			
La Pola de Gordón	1,168	5	5	5	Cumple en 2015	1			
Cervera	1,085	5	5	5	Cumple en 2015	1			
Quintanilla-Peñahoradada	1,082	25	20	20	Cumple en 2015	1			
Terciario y Cuaternario del Tuerto-Esla	2,357	20	20	20	Cumple en 2015	1			
Valdavia	2,47	35	35	35	Cumple en 2015	1	*		
Terciario y Cuaternario del Esla-Cea	1,867	30	30	25	Cumple en 2015	2			
Aluvial del Esla*	782	25	25	25	Cumple en 2015	1	*		
Tierra de Campos	3,333	35	25	20	Cumple en 2015	2			
Carrión	1,289	35	35	35	Cumple en 2015	1	*		
Aluvial del Órbigo	311	30	30	30	Cumple en 2015	1			
La Maragatería	2,258	10	10	10	Cumple en 2015	1			
Villadiego	736	40	30	25	Cumple en 2015	2			
Raña del Órbigo	695	55	45	40	Prorroga a 2021	2			
Castrojeriz	1,121	50	45	35	Cumple en 2015	2			
Burgos	1,692	40	30	25	Cumple en 2015	2			
Arlanzón-Río Lobos	1,114	15	15	10	Cumple en 2015	1			
Raña de la Bañeza	180	10	10	10	Cumple en 2015	1			
Aluviales Pisuerga-	491	35	30	25	Cumple en 2015	2			

ANEJO 12. PROGRAMA DE MEDIDAS

Masa	Sup (km <sup>2</sup> )	2015	2021	2027	Diagnóstico	Medidas	Puntual	Tendencia	Adicional
Arlanzón									
Sierra de la Demanda	452	5	5	5	Cumple en 2015	1			
Sanabria	1,423	5	5	5	Cumple en 2015	1			
Vilardevós-Laza	1,065	10	10	10	Cumple en 2015	1			
Valle del Tera	930	20	20	20	Cumple en 2015	1			
Páramo de Astudillo	394	45	35	25	Prorroga a 2021	2			
Sierra de Cameros	2,25	10	10	10	Cumple en 2015	1	*		
Verín	73	15	10	10	Cumple en 2015	1			
Páramo de Esgueva	2,097	50	40	35	Prorroga a 2021	2			
Aranda de Duero	2,292	30	25	20	Cumple en 2015	2			
Villafáfila*	1,004	50	45	40	Prorroga a 2021	2			
Páramo de Torozos*	1,521	70	60	55	Objetivos menos rigurosos	2			
Aliste*	1,844	10	15	15	Cumple en 2015	1	*	Creciente	
Araviana	431	25	20	15	Cumple en 2015	2			
Cabrejas-Soria	479	15	15	15	Cumple en 2015	1			
Moncayo	91	30	30	30	Cumple en 2015	2			
Cuenca de Almazán	2,371	30	25	20	Cumple en 2015	2			
Tordesillas*	1,188	75	65	55	Objetivos menos rigurosos	2			
Aluvial del Duero: Aranda-Tordesillas*	481	35	30	25	Cumple en 2015	2			
Sayago	2,619	25	30	30	Cumple en 2015	1		Creciente	
Aluvial del Duero: Tordesillas-Zamora	324	40	40	35	Cumple en 2015	2			
Riaza	1,06	45	40	35	Prorroga a 2021	2			
Páramo de Cuellar*	903	55	45	35	Prorroga a 2021	2			
Páramo de Corcos	417	35	30	30	Cumple en 2015	2			
Los Arenales**	2,41	50	50	50	Prorroga a 2027	2			*
Sepúlveda*	491	20	20	20	Cumple en 2015	1			
Medina del Campo*	3,631	70	70	65	Objetivos menos rigurosos	2			
Tierra del Vino	1,552	55	55	50	Prorroga a 2027	2	2027		
Ayllón	657	25	30	25	Cumple en 2015	1			
Almazán	1,02	30	30	30	Cumple en 2015	1	*		
Páramo de Escalote	327	50	35	30	Prorroga a 2021	2	2021		
Salamanca*	2,446	55	55	55	Objetivos menos rigurosos	2			
Vitigudino	3,104	20	20	25	Cumple en 2015	1	*	Creciente	
Guadarrama-Somosierra**	1,125	10	10	10	Cumple en 2015	1			
Cantimpalos**	1,943	55	55	55	Objetivos menos rigurosos	2			*
Prádena	195	25	25	25	Cumple en 2015	1			
Segovia	119	20	20	20	Cumple en 2015	1	*		
Campo-Charro	1,479	25	30	35	Cumple en 2015	1	*	Creciente	
La Fuente de San Esteban	1,175	45	45	45	Prorroga a 2021	2	2021		*
Gredos	2,077	25	25	25	Cumple en 2015	1	*		
Sierra de Ávila	1,397	15	15	15	Cumple en 2015	1			
Ciudad Rodrigo	411	25	20	25	Cumple en 2015	1	*		
Valle de Amblés	229	60	60	60	Objetivos menos rigurosos	2			
Las Batuecas	1,041	10	10	10	Cumple en 2015	1			
Valdecorneja	61	30	35	35	Cumple en 2015	1	*	Creciente	

Tabla 1. Resultados obtenidos para las masas de agua subterráneas

Aquellas masas de agua subterránea que alcanzan los objetivos con el escenario de aplicación de dosis óptimas de fertilización y que actualmente cuentan con la designación de zona vulnerable y un programa de actuación aprobado, implica que la aplicación actual del programa de acción es insuficiente.

Las masas de agua que cuentan con designación de zona vulnerable (Decreto 40/2009, de 25 de junio, por el que se designan las zonas vulnerables a la contaminación de las aguas por nitratos, y se aprueba el Código de Buenas Prácticas Agrarias, BOCyL nº123 de 1-07-2009) aparecen con el símbolo “\*” en su nombre y las que ya lo eran ya por Decreto 109/1998, de 11 de junio, por el que se designan las zonas vulnerables a la contaminación de las aguas por nitratos, y se aprueba el Código de Buenas Prácticas Agrarias (BOCyL nº119 de 25-06-1998) y tienen su programa de acción aprobado (Orden de 27 de junio de 2001, que aprueba los programas de actuación en las zonas vulnerables designadas por Decreto 109/1998) aparecen con el símbolo “\*\*”.

Como se ha mencionado, este es el diagnóstico que se presenta como resultado del estudio del Instituto de Ingeniería del Agua y Medio Ambiente de la UPV en colaboración con Tragsatec S.A. No obstante, en la DHD, se han combinado los resultados obtenidos en los tres escenarios de simulación en las diferentes masas de agua de acuerdo a unos criterios propios.

Dichos criterios se explican en el Anejo 8 (Objetivos Medioambientales) de este PHD. A continuación se presentan los resultados que han sido adoptados en la parte española de la DHD.

Masa	Escenario	2015	2021	2027	Tendencia actual
Guardo	Situación actual	5	5	5	Estable/decreciente
La Pola de Gordón	Situación actual	5	5	5	Estable/decreciente
Cervera de Pisuerga	Situación actual	5	5	5	Estable/decreciente
Quintanilla-Peñahoradada	Situación actual	25	20	20	Estable/decreciente
Terciario y Cuaternario del Tuerto-Esla	Situación actual	20	20	20	Estable/decreciente
Valdavia	Situación actual	35	35	35	Estable/decreciente
Terciario y Cuaternario del Esla-Cea	Situación actual	35	40	40	Creciente
Aluvial del Esla	Situación actual	25	25	25	Estable/decreciente
Tierra de Campos	Situación actual	40	45	45	Creciente
Carrión	Situación actual	35	35	35	Estable/decreciente
Aluvial del Órbigo	Situación actual	30	30	30	Estable/decreciente
La Maragatería	Situación actual	10	10	10	Estable/decreciente
Villadiego	Situación actual	55	55	50	Estable/decreciente
Raña del Órbigo	Situación actual	75	75	80	Creciente
Castrojeriz	Situación actual	65	65	65	Creciente
Burgos	Situación actual	50	50	50	Creciente
Arlanzón-Río Lobos	Situación actual	15	15	10	Estable/decreciente
Raña de La Bañeza	Situación actual	10	10	10	Estable/decreciente
Aluviales del Pisuerga-Arlanzón	Situación actual	45	50	50	Creciente
Sierra de la Demanda	Situación actual	5	5	5	Estable/decreciente
Sanabria	Situación actual	5	5	5	Estable/decreciente
Vilardevós-Laza	Situación actual	10	10	10	Estable/decreciente
Valle del Tera	Situación actual	20	20	20	Estable/decreciente
Páramo de Astudillo	Situación actual	65	65	60	Estable/decreciente
Sierra de Cameros	Situación actual	10	10	10	Estable/decreciente
Verín	Situación actual	15	10	10	Estable/decreciente
Páramo de Esgueva	Situación actual	65	70	65	Creciente
Aranda de Duero	Situación actual	40	45	45	Creciente
Villafáfila	Fertilización óptima	50	45	40	Creciente
Páramo de Torozos	Situación actual	80	85	85	Creciente
Aliste	Situación actual	10	15	15	Estable/decreciente
Araviana	Situación actual	40	40	40	Estable/decreciente
Cabrejas-Soria	Situación actual	15	15	15	Estable/decreciente

Masa	Escenario	2015	2021	2027	Tendencia actual
Moncayo	Situación actual	35	40	40	Creciente
Cuenca de Almazán	Situación actual	40	45	45	Creciente
Tordesillas	Fertilización óptima	75	65	55	Creciente
Aluvial del Duero: Aranda-Tordesillas	Situación actual	45	45	45	Creciente
Sayago	Situación actual	25	30	30	Creciente
Aluvial del Duero: Tordesillas-Zamora	Situación actual	55	55	55	Creciente
Riaza	Situación actual	50	55	50	Creciente
Páramo de Cuéllar	Fertilización óptima	55	45	35	Estable/decreciente
Páramo de Corcos	Situación actual	45	45	40	Estable/decreciente
Los Arenales	Fertilización óptima	50	55	55	Creciente
Sepúlveda	Situación actual	20	20	20	Creciente
Medina del Campo	Fertilización óptima	70	70	65	Creciente
Tierra del Vino	Situación actual	60	70	70	Creciente
Ayllón	Situación actual	25	30	25	Creciente
Almazán Sur	Situación actual	30	30	30	Creciente
Páramo de Escalote	Situación actual	65	65	65	Estable/decreciente
Salamanca	Fertilización óptima	55	55	55	Creciente
Vitigudino	Situación actual	20	20	25	Creciente
Guadarrama-Somosierra	Fertilización óptima	10	10	10	Estable/decreciente
Cantimpalos	Fertilización óptima	55	60	60	Creciente
Prádena	Situación actual	25	25	25	Estable/decreciente
Segovia	Situación actual	20	20	20	Estable/decreciente
Campo Charro	Situación actual	25	30	35	Creciente
La Fuente de San Esteban	Situación actual	40	40	40	Estable/decreciente
Gredos	Situación actual	25	25	25	Creciente
Sierra de Ávila	Situación actual	15	15	15	Creciente
Ciudad Rodrigo	Situación actual	25	20	25	Estable/decreciente
Valle de Amblés	Situación actual	65	70	70	Creciente
Las Batuecas	Situación actual	10	10	10	Estable/decreciente
Valdecorneja	Situación actual	30	35	35	Creciente

**Tabla 2. Resultados obtenidos para las masas de agua subterráneas en la parte española de la DHD**

## 5. REFERENCIAS

Pérez, M. A. 2005 Modelo distribuido de simulación del ciclo hidrológico y calidad del agua, integrado en sistemas de información geográfica, para grandes cuencas. Aportación al análisis de presiones e impactos de la Directiva Marco del Agua.

SCS, 1954. Hydrology guide for use in watershed planning, USDA Soil Conservation Service U.S. Dept. of Agriculture.

Témez, J.R. 1977. Modelo matemático de transformación precipitación-aportación. ASINEL, 1977.

Tragsatec S.A. y Universidad Politécnica de Valencia. 2009. “Definición de la concentración objetivo de nitrato en las masas de agua subterráneas de las cuencas intercomunitarias”. (Borrador v.2 de 14 de mayo de 2009).