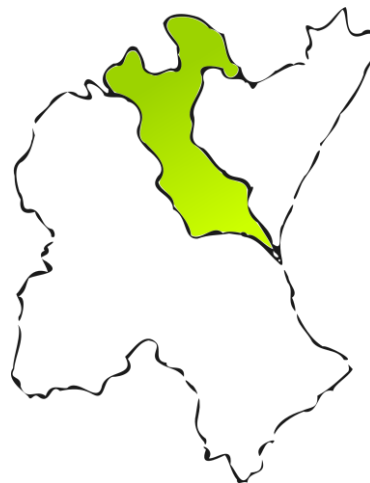
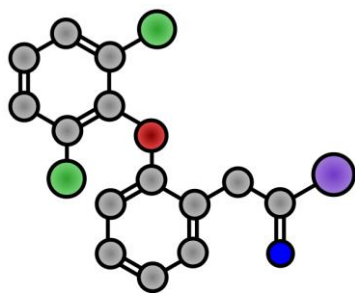




***Informe de aplicación práctica de la  
herramienta Gescal (Tóxicos)***

-

***Modelo de simulación del  
contaminante tóxico emergente  
Diclofenaco en la cuenca del río Turia.***







# I. Índice General

I.	ÍNDICE GENERAL.....	I
II.	ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	III
1.	INTRODUCCIÓN .....	1
2.	OBJETIVOS.....	3
3.	METODOLOGÍA.....	5
3.1.	MODELACIÓN MATEMÁTICA.....	5
3.2.	AQUATOOL.....	7
3.2.1.	<i>SIMGES</i> .....	7
3.2.2.	<i>GESCAL</i> .....	8
3.2.2.1.	Modelación en conducciones .....	8
3.2.2.2.	Tóxicos en un tramo de río.....	9
3.2.2.3.	Tóxicos en un embalse completamente mezclado.....	10
3.2.2.4.	Tóxicos en un embalse bicapa.....	11
4.	CASO DE ESTUDIO.....	15
4.1.	DESCRIPCIÓN DE LA CUENCA DEL RÍO TURIA .....	15
4.2.	DICLOFENACO.....	16
4.2.1.	<i>Consumo</i> .....	17
4.2.2.	<i>Metabolización</i> .....	18
4.2.3.	<i>Degradación</i> .....	18
4.2.3.1.	EDARS.....	18
4.2.3.2.	Medio natural.....	20
4.2.3.3.	Suelos.....	20
4.2.4.	<i>Impactos medioambientales</i> .....	21
4.3.	MODELO DE SIMULACIÓN .....	21
4.3.1.	<i>Acuíferos</i> .....	24
4.3.2.	<i>Aportes</i> .....	24
4.3.3.	<i>Centrales Hidroeléctricas</i> .....	25
4.3.4.	<i>Demandas</i> .....	26
4.3.5.	<i>Embalses</i> .....	26
4.3.6.	<i>Retornos</i> .....	27
4.3.7.	<i>Ríos</i> .....	28
4.4.	SIMULACIONES .....	29
4.4.1.	<i>Cantidad de agua</i> .....	31



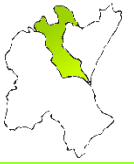
4.4.2. Calidad del agua .....	33
<b>5. CONCLUSIONES.....</b>	<b>39</b>
<b>6. REFERENCIAS.....</b>	<b>41</b>



## II. Índice de Ilustraciones

<i>Ilustración 3-1. Esquema de modelación de las conducciones.</i>	9
<i>Ilustración 4-1. Esquema químico diclofenaco.</i>	17
<i>Ilustración 4-2. Modelo simplificado de simulación del sistema Turia.</i>	22
<i>Ilustración 4-3. Esquema completo de simulación del sistema Turia.</i>	23
<i>Ilustración 4-4. Acuíferos del modelo de simulación del sistema Turia.</i>	24
<i>Ilustración 4-5. Aportes del modelo de simulación del sistema Turia.</i>	25
<i>Ilustración 4-6. Centrales hidroeléctricas del modelo de simulación del sistema Turia.</i>	26
<i>Ilustración 4-7. Demandas del modelo de simulación del sistema Turia.</i>	26
<i>Ilustración 4-8. Características de los embalses del sistema de explotación Turia. (Fuente: PHJ 2009-2015, Anejo VI, Sistemas de Explotación).</i>	27
<i>Ilustración 4-9. Embalses del modelo de simulación del sistema Turia.</i>	27
<i>Ilustración 4-10. Retornos del modelo de simulación del sistema Turia.</i>	28
<i>Ilustración 4-11. Tramos de río del sistema Turia.</i>	28
<i>Ilustración 4-12. Longitudes de tramos de ríos en el modelo Turia.</i>	29
<i>Ilustración 4-13. Comparación de los flujos de agua observados en Arquillo y simulado por el modelo.</i>	31
<i>Ilustración 4-14. Comparación de los flujos de agua observados en Zagra y simulado por el modelo.</i>	31
<i>Ilustración 4-15. Comparación de los flujos de agua observados en Loriguilla y simulado por el modelo.</i>	32
<i>Ilustración 4-16. Comparación de los flujos de agua observados en La Presa y simulado por el modelo.</i>	32
<i>Ilustración 4-17. Concentraciones de Sólidos Suspendidos [mg/l] en el embalse de Arquillo de San Blas.</i>	33
<i>Ilustración 4-18. Concentraciones de Diclofenaco [mg/l] en el embalse de Arquillo de San Blas.</i>	33
<i>Ilustración 4-19. Concentraciones de Sólidos Suspendidos [mg/l] en el embalse de Benagéber.</i>	34
<i>Ilustración 4-20. Concentraciones de Diclofenaco [mg/l] en el embalse de Benagéber.</i>	34
<i>Ilustración 4-21. Concentraciones de Sólidos Suspendidos [mg/l] en el embalse de Loriguilla.</i>	35
<i>Ilustración 4-22. Concentraciones de Diclofenaco [mg/l] en el embalse de Loriguilla.</i>	35





## 1. INTRODUCCIÓN

Los problemas de calidad del agua debido a los llamados contaminantes emergentes no empezaron a crear interés hasta hace muy poco. Actualmente son considerados como una importante fuente de contaminación para las principales masas de agua. Estos compuestos son empleados diariamente en los hogares, granjas e industrias, entre los que se incluyen los detergentes, fragancias, medicamentos, desinfectantes y pesticidas. Después del consumo de estas sustancias y los derivados de la actividad humana, pasando por el sistema de aguas residuales tras la excreción o vertidos sin depurar, alcanzan masas naturales de agua naturales. Este es el principal motivo por el que los denominados contaminantes emergentes pueden generar grandes impactos negativos en el medio ambiente y en la salud humana.

El presente informe muestra los resultados de la modelación de la calidad del agua en la cuenca del río Turia, para el contaminante Diclofenaco, considerado como uno de los contaminantes emergentes. Dicha sustancia es un medicamento antiinflamatorio no esteroide muy comúnmente empleado, el cual se ha detectado como uno de los fármacos con mayor presencia en las estaciones depuradoras de aguas residuales (EDARs). Los valores máximos de las concentraciones detectadas para este contaminante están en el rango de mg/l, esto es especialmente preocupante ya que la mayoría de contaminantes emergentes se detectan con valores expresados en  $\mu\text{g/l}$ . Los conocimientos sobre el destino de este contaminante y sus impactos en el medio natural son escasos e inciertos. Principalmente debido a que el diclofenaco no se ha detectado hasta las últimas dos décadas en aguas de ríos o lagos.

Por esta razón, resulta fundamental controlar y señalar las áreas con un riesgo medioambiental significativo asociado a este contaminante. Siguiendo este objetivo, la modelación matemática a escala de cuenca presenta una herramienta útil, capaz de simular la distribución temporal y espacial de los contaminantes emergentes. La modelación pretende predecir las concentraciones de diferentes sustancias en ríos, especialmente de cara a eventos futuros, así como determinar o verificar los

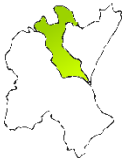


patrones de comportamiento de dichas sustancias en diferentes condiciones ambientales.

En la cuenca del río Turia existe una creciente preocupación sobre el riesgo de calidad del agua, el cual afecta al medio natural y a la salud humana del área afectada. De la cuenca, situada en la costa mediterránea española, se extrae agua para abastecer una parte importante de la ciudad de Teruel y Valencia. Al mismo tiempo, 10 EDARs son los principales vertidos en las aguas del río Turia. Por todo ello, el régimen natural del río sufre fuertes alteraciones en cuanto a la cuantía de caudal, y esto a su vez, afecta directamente a la calidad del agua, obteniendo unas altas concentraciones.

En resumen, el propósito del presente trabajo es implementar la modelación del contaminante tóxicos en el modelo a escala cuenca desarrollado con el Software AQUATOOL, particularmente con el módulo GESCAL. El principal objetivo será estudiar los efectos y el comportamiento del contaminante emergente diclofenaco. El modelo tiene como fin simular las concentraciones del diclofenaco a lo largo de toda la red de cauces del río.





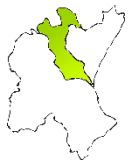
## 2. OBJETIVOS

El principal objetivo de este trabajo es el desarrollo del modelo de calidad de agua para el contaminante tóxico diclofenaco. Mediante este desarrollo se pretende analizar y evaluar la calidad del agua en el ámbito de la cuenca del río Turia. El deterioro de las aguas en la zona de estudio y la necesidad de un análisis en profundidad de los nuevos contaminantes emergentes justifican la realización de este informe.

Con el fin de alcanzar el objetivo principal se van a llevar a cabo las siguientes actividades:

- Simulación del modelo de calidad de agua de la cuenca del río Turia.
- Comprobación de aportes al modelo.
- Análisis de las variables de estado del modelo.
- Recopilación de información de calidad de aguas (Físico-Químico).
- Desarrollo del modelo de calidad de aguas.
- Simulación y comprobación de resultados.





### 3. METODOLOGÍA

El estudio de la calidad del agua encuentra en los modelos matemáticos una herramienta de extraordinaria utilidad para comprender, simular, predecir, y adoptar decisiones en las mejores condiciones sobre la planificación y gestión óptima de los sistemas o entornos naturales.

La metodología utilizada para la realización de este trabajo consiste en el módulo de cálculo de la gestión de la calidad de aguas GESCAL (Paredes, 2004) perteneciente al software AQUATOOL (Andreu et al., 1996). En este módulo, se han definido todas las ecuaciones necesarias para la correcta modelación de los principales contaminantes emergentes. La implementación de este tipo de modelos de calidad de agua es necesaria para la mejora de los procesos de toma de decisiones y para una correcta gestión de los recursos hídricos (Paredes and Lund, 2006; Paredes and Solera, 2013; Paredes-Arquiola et al., 2010; Solera et al., 2014).

#### 3.1. Modelación matemática

El núcleo de cualquier modelo de calidad de aguas son los balances de materia que son un método matemático muy utilizado en ingeniería química. Su funcionamiento se basa en la ley de conservación de materia según la cual la materia ni se crea ni se destruye, solo se transforma. Por esta razón, en un sistema aislado, la masa permanece constante, y si existe interacción con el exterior, la masa que entra tiene que salir o acumularse en él. Los balances se aplican a cada una de las sustancias que se quieran modelar. Pueden aplicarse a; contaminantes químicos, oxígeno disuelto, microorganismos, contaminantes emergentes, etc., según el tipo de problema en estudio. Dichas sustancias constituyen los "componentes del modelo" (Martín and Marzal, 1999).

La concentración de una determinada sustancia para un sistema específico debe cumplir la Ecuación General de Conservación de la Materia [EGCM]. La ecuación diferencial que describe la variación de concentraciones en el tiempo para un elemento diferencial de volumen corresponde con la ecuación. Si el sistema



estudiado no es dependiente del tiempo, se tratará de un balance de materia en estado estacionario, simplificando considerablemente la ecuación. En el caso en el que los condicionantes del problema varíen con el tiempo se requerirá una resolución en transitorio.

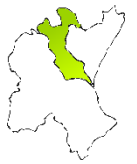
$$\frac{\partial C}{\partial t} = -\frac{\partial}{\partial x}(u_x C) - \frac{\partial}{\partial y}(u_y C) - \frac{\partial}{\partial z}(u_z C) + \frac{\partial}{\partial x}\left(E_x \frac{\partial C}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(E_y \frac{\partial C}{\partial y}\right) + \frac{\partial}{\partial z}\left(E_z \frac{\partial C}{\partial z}\right) + S_K$$

Los primeros términos de la ecuación corresponden con el transporte convectivo del contaminante, que se produce por el propio movimiento del fluido. A continuación, aparecen los términos dispersivos que engloba el transporte por difusión molecular, difusión turbulenta y dispersión.

La última parte de las ecuaciones de balance corresponde con los términos de fuente/sumidero. La entrada de masa del contaminante a modelar, se realiza por medio de unas concentraciones asociadas a los caudales de entrada ( $Q_e \cdot C_e$ ). Por otro lado, la cantidad de masa que sale del sistema se calcula en función de los caudales de salida y las concentraciones calculadas mediante el modelo ( $Q_s \cdot C_s$ ).

Además, hay que tener en cuenta la interacción de la masa de agua con el sedimento que, en función de la sustancia a modelar, los flujos se producirán de una determinada forma. La acumulación de distintos materiales en los sedimentos de humedales, lagos y ecosistemas acuáticos revela el tipo de contaminación recibida. Los sedimentos se comportan como fuente/sumidero de sustancias disueltas o particuladas, de este modo interactúa activamente con la columna de agua (Belda, 2015, 2013; Hernández-Crespo and Martín, 2015). En determinadas ocasiones se produce una recirculación de sustancias que dificultan la reducción de determinados contaminantes.

La modelación de contaminantes no conservativos, además de los términos de entrada y salida requieren la inclusión de los términos de generación y/o desaparición de contaminante por procesos físicos, químicos y biológicos (Chapra, 2003). En el término fuente/sumidero se incluyen las ecuaciones cinéticas que



caracterizan dichos procesos. En estos términos aparece la concentración del contaminante estudiado y la de cualquier otro con el que tenga algún tipo de interacción. La solución del sistema de ecuaciones queda condicionada por las interrelaciones que se describan en cada termino, por esta razón se requerirá una resolución conjunta de todas las sustancias (Paredes, 2004).

## 3.2. AQUATOOL

El software empleado para desarrollar el modelo de contaminantes tóxicos del Turia ha sido el Sistema Soporte de Decisión (SSD) AQUATOOL (Andreu et al., 1996), y su nueva versión AQUATOOL (Solera et al., 2014). Este software consta de un conjunto de aplicaciones informáticas encaminadas a modelar la gestión y planificación de sistemas de recursos hídricos. Este programa ha sido desarrollado por el grupo de Recursos Hídricos del Departamento de Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente de la Universidad Politécnica de Valencia.

AQUATOOL dispone de diferentes módulos que se aplican en función de la finalidad del estudio. En el caso de la modelación de la cuenca del río Turia se va a trabajar con el módulo SIMGES para la parte de la gestión del recurso hídrico, y de forma muy especial con el módulo GESCAL, que se encargará específicamente de la calidad de las aguas, en la simulación de contaminantes tóxicos. El programa va acompañado de una interfaz amigable que permite un diseño específico para cada sistema y la entrada tanto gráfica de datos, como por medio de archivos con una estructura específica.

### 3.2.1. SIMGES

SIMGES es un programa que optimiza mes a mes la asignación de los recursos, con el objetivo de minimizar los déficits cumpliendo las reglas de operación, para optimizar así el funcionamiento del sistema. Se cuenta con una serie de elementos de transporte, consumo, derivación, almacenamiento y retorno, cuyas características deben ser definidas por el usuario de manera que el modelo reproduzca el funcionamiento real del sistema. El flujo superficial es calculado por



continuidad y balance. Además, el programa permite reproducir la relación con los acuíferos.

### *3.2.2. GESCAL*

GESCAL es un programa que tiene como finalidad la modelación de la calidad del agua a escala de cuenca que funciona como post procesador del módulo SIMGES, es decir, que antes de ejecutarlo se han de obtener todos los resultados relativos a caudales circulantes y déficits en las demandas. De esta forma, puede integrarse la gestión con la calidad del agua, viendo el efecto de las diferentes decisiones relativas al caudal sobre el estado cualitativo del agua.

Cabe destacar que la escala de trabajo es mensual, por tanto, los resultados obtenidos serán promedios mensuales, no pudiéndose representar el comportamiento del sistema ante eventos puntuales como podría ser un vertido accidental. A continuación, se detalla cómo el programa desarrolla la modelación en los diferentes elementos que forman parte del modelo de este estudio.

#### *3.2.2.1. Modelación en conducciones*

El elemento conducción sirve para modelar cualquier curso de agua, ya sea un tramo de río, un canal o cualquier otro tipo de conducción. En el programa GESCAL se modela el tramo de río bajo las siguientes características:

- Se considera unidimensional con homogeneidad de concentraciones tanto en el eje vertical como en el transversal.
- Estado estacionario: para cada mes se estiman las condiciones estacionarias de calidad del agua que alcanzaría el tramo de río si las condiciones se mantuvieran constantes dentro de ese intervalo de tiempo.
- Se consideran los procesos de advección y dispersión.
- Se tiene en cuenta la posible relación con los acuíferos.
- Se permite la introducción de elementos de contaminación difusa.
- La hidráulica se puede modelar tanto por relaciones potenciales como por la ecuación de Manning asumiendo sección trapezoidal.
- Vertidos puntuales considerados en nudos.

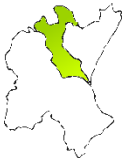


Ilustración 3-1. Esquema de modelación de las conducciones.

### 3.2.2.2. Tóxicos en un tramo de río.

Para la modelación de un contaminante tóxico es necesaria la simulación conjunta con los sólidos suspendidos debido a las interrelaciones que se producen entre ellos. A continuación, se muestra la formulación que emplea el módulo de cálculo GESCAL.

#### Sólidos suspendidos en la columna de agua:

$$0 = u \frac{dm}{dx} + E \frac{d^2m}{dx^2} - \frac{Vs}{h} m + \frac{Vr}{h} m_{sed}$$

Donde:  $m$  es la concentración de sólidos suspendidos en la columna de agua;  $E$  es el coeficiente de dispersión;  $Vs$  es la velocidad de sedimentación;  $Vr$  es la velocidad de resuspensión;  $m_{sed}$  es la concentración de sólidos en el sedimento;  $h$  es la altura de la columna de agua.

#### Sólidos suspendidos en sedimento:

$$m_{sed} = \rho(1 - \phi \cdot A_{sed} \cdot z_{sed})$$

Donde:  $\rho$  es la densidad del sedimento;  $\phi$  es la porosidad del sedimento;  $A_{sed}$  es el área del sedimento;  $z_{sed}$  es la altura del sedimento activo.



### Tóxico en la columna de agua:

$$0 = -u \frac{dC}{dx} + E \frac{d^2C}{dx^2} + K \cdot C - \frac{Vv \cdot Fd \cdot C}{h} - \frac{Vs \cdot Fp \cdot C}{h} + \frac{Vr \cdot C_{sed}}{h} + \frac{Vd}{h} (Fd_{sed} \cdot C_{sed} - Fd \cdot C)$$

Donde: C es la concentración de contaminante en el agua; K es la constante de degradación de la columna de agua; C<sub>sed</sub> es la concentración de contaminante en el sedimento; Fp es la fracción particulada de la columna de agua; Fd es la fracción disuelta de la columna de agua; Fd<sub>sed</sub> es la fracción disuelta en el sedimento; Vv es la velocidad de volatilización; Vd es la velocidad de difusión.

### Tóxico en el sedimento:

$$\frac{dC_{sed}}{dt} = -K_{sed} \cdot C_{sed} + \frac{Vs \cdot Fp \cdot C}{z_{sed}} - \frac{Vr \cdot C_{sed}}{z_{sed}} - \frac{Vb \cdot C_{sed}}{z_{sed}} + \frac{Vd}{z_{sed}} (Fd \cdot C - Fd_{sed} \cdot C_{sed})$$

Donde: K<sub>sed</sub> es la constante de degradación del contaminante del sedimento; Vb es la velocidad de compactación.

### 3.2.2.3. Tóxicos en un embalse completamente mezclado

#### Sólidos suspendidos en la columna de agua:

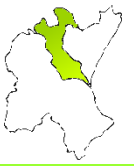
$$\frac{dm}{dt} = \frac{1}{V} (Q_e \cdot m_e - Q_s \cdot m - Vr \cdot As \cdot m_{sed} - Vs \cdot Ac \cdot m - \frac{\Delta V}{\Delta t} \cdot m)$$

Donde: m es la concentración de sólidos suspendidos en la columna de agua; m<sub>e</sub> es la concentración de sólidos suspendidos en la entrada de agua; m<sub>sed</sub> es la concentración de sólidos suspendidos en el sedimento; V es el volumen del embalse; Vs es la velocidad de sedimentación; Vr es la velocidad de resuspensión; As es el área columna-sedimento; Ac es el área media de la columna de agua; Q<sub>e</sub> es el caudal de entrada al embalse; Q<sub>s</sub> es el caudal de salida del embalse.

#### Sólidos suspendidos en sedimento:

$$m_{sed} = \rho(1 - \phi \cdot A_{sed} \cdot z_{sed})$$





Donde:  $\rho$  es la densidad del sedimento;  $\varphi$  es la porosidad del sedimento;  $A_{sed}$  es el área del sedimento;  $z_{sed}$  es la altura del sedimento activo.

#### Tóxico en la columna de agua:

$$\frac{dC}{dt} = \frac{1}{V} (Q_e \cdot C_e - Q_s \cdot C - K \cdot V \cdot C + Vr \cdot As \cdot C_{sed} - Vv \cdot Aep \cdot Fd \cdot C_{sed} - Vs \cdot Ac \cdot Fp \cdot C + Vd \cdot As \cdot (Fd_{sed} \cdot C_{sed} - Fd \cdot C) - \frac{\Delta V}{\Delta t} \cdot C)$$

Donde: C es la concentración de contaminante en el agua; K es la constante de degradación de la columna de agua;  $C_{sed}$  es la concentración de contaminante en el sedimento; Fp es la fracción particulada de la columna de agua; Fd es la fracción disuelta de la columna de agua;  $Fd_{sed}$  es la fracción disuelta en el sedimento; Vv es la velocidad de volatilización; Vd es la velocidad de difusión; Aep es el área de la lámina de agua.

#### Tóxico en el sedimento:

$$\frac{dC_{sed}}{dt} = -K_{sed} \cdot C_{sed} + \frac{Vs \cdot Fp \cdot C}{z_{sed}} - \frac{Vr \cdot C_{sed}}{z_{sed}} - \frac{Vb \cdot C_{sed}}{z_{sed}} + \frac{Vd}{z_{sed}} (Fd \cdot C - Fd_{sed} \cdot C_{sed})$$

Donde:  $K_{sed}$  es la constante de degradación del contaminante del sedimento; Vb es la velocidad de compactación.

#### 3.2.2.4. Tóxicos en un embalse bicapa.

##### Sólidos suspendidos en la columna de agua:

Epilimnion (subíndice 1):

$$\frac{dm_1}{dt} = \frac{1}{V_1} (Q_{e1} \cdot m_{e1} - Q_{s1} \cdot m_1 - Vs \cdot Ac \cdot m_1 + E'(m_2 - m_1) + \frac{\Delta V_1}{2} \cdot \frac{C_1}{2})$$

Hipolimnion (subíndice 2):

$$\frac{dm_2}{dt} = \frac{1}{V_2} (Q_{e2} \cdot m_{e2} - Q_{s2} \cdot m_2 - Vs \cdot Ac \cdot m_2 - Vs \cdot Ac \cdot m_1 + E'(m_1 - m_2) - \frac{\Delta V_1}{2} \cdot \frac{C_1}{2}) + Vr \cdot As \cdot m_2)$$



Donde:  $m$  es la concentración de sólidos suspendidos en la columna de agua;  $m_e$  es la concentración de sólidos suspendidos en la entrada de agua;  $m_{sed}$  es la concentración de sólidos suspendidos en el sedimento;  $V$  es el volumen del embalse;  $V_s$  es la velocidad de sedimentación;  $V_r$  es la velocidad de resuspensión;  $A_s$  es el área columna-sedimento;  $A_c$  es el área media de la columna de agua;  $Q_e$  es el caudal de entrada al embalse;  $Q_s$  es el caudal de salida del embalse.

#### Sólidos suspendidos en sedimento:

$$m_{sed} = \rho(1 - \phi \cdot A_{sed} \cdot z_{sed})$$

Donde:  $\rho$  es la densidad del sedimento;  $\phi$  es la porosidad del sedimento;  $A_{sed}$  es el área del sedimento;  $z_{sed}$  es la altura del sedimento activo.

#### Tóxico en la columna de agua:

Epilimnion (subíndice 1):

$$\frac{dC_1}{dt} = \frac{1}{V_1} (Q_{e1} \cdot C_{e1} - Q_{s1} \cdot C_1 - K_1 \cdot V_1 \cdot C_1 - Vv \cdot Aep \cdot Fd_1 \cdot C_1 - Vs_1 \cdot Ac \cdot Fp_1 \cdot C_1 + E \cdot Ac \cdot (Fd_2 \cdot C_2 - Fd_1 \cdot C_1) + \Delta V \frac{V_1}{2} \cdot \frac{C_1}{2})$$

Hipolimnion (subíndice 2):

$$\frac{dC_2}{dt} = \frac{1}{V_2} (Q_{e2} \cdot C_{e2} - Q_{s2} \cdot C_2 - K_2 \cdot V_2 \cdot C_2 + Vr \cdot As \cdot C_{sed} - Vv \cdot Aep \cdot Fd_1 \cdot C_1 - Vs_2 \cdot Ac \cdot Fp \cdot C + E \cdot Ac \cdot (Fd_1 \cdot C_1 - Fd_2 \cdot C_2) + E \cdot As \cdot (Fd_{sed} \cdot C_{sed} - Fd_2 \cdot C_2) - \Delta V \frac{V_1}{2} \cdot \frac{C_1}{2})$$

Donde:  $C$  es la concentración de contaminante en el agua;  $K$  es la constante de degradación de la columna de agua;  $C_{sed}$  es la concentración de contaminante en el sedimento;  $Fp$  es la fracción particulada de la columna de agua;  $Fd$  es la fracción disuelta de la columna de agua;  $Fd_{sed}$  es la fracción disuelta en el sedimento;  $Vv$  es la velocidad de volatilización;  $Vd$  es la velocidad de difusión;  $Aep$  es el área de la lámina de agua.



**Tóxico en el sedimento:**

$$\frac{dC_{sed}}{dt} = -K_{sed} \cdot C_{sed} + \frac{Vs \cdot Fp_2 \cdot C_2}{Z_{sed}} - \frac{Vr \cdot C_{sed}}{Z_{sed}} - \frac{Vb \cdot C_{sed}}{Z_{sed}} + \frac{Vd}{Z_{sed}} (Fd_2 \cdot C_2 - Fd_{sed} \cdot C_{sed})$$

Donde:  $K_{sed}$  es la constante de degradación del contaminante del sedimento;  $Vb$  es la velocidad de compactación.





## 4. CASO DE ESTUDIO

El caso de estudio analizado en este trabajo es el río Turia, que está situado al este de la Península Ibérica. Nace en la Muela de San Juan, cercana al municipio de Guadalaviar, en la provincia de Teruel, siendo su cota de nacimiento de 1.842 m.s.n.m. Desemboca en la ciudad de Valencia y tiene una longitud de 280 km. Toda la información de este apartado ha sido extraída del Plan Hidrológico del Júcar y del Documento Técnico de Referencia para la Modelación y Análisis del Sistema de Explotación Turia de 2012.

### 4.1. Descripción de la cuenca del río Turia

La superficie de su cuenca es de 6.394 km<sup>2</sup> y ésta tiene forma larga y estrecha, lo que hace que, a excepción del Alfambra, sus afluentes laterales no tengan una excesiva longitud. Aparte del ya mencionado Alfambra sus afluentes son: Camarena, Riodeva, Arcos y Tuéjar por la izquierda y Ebrón, Vallanca y Sot por la derecha. El régimen del río es de tipo mediterráneo, con gran irregularidad. Son frecuentes las crecidas que han provocado, en ocasiones, grandes desastres.

Hasta la confluencia con el Alfambra, el río lleva dirección O-E, girando a su paso por Teruel hacia el sur, manteniendo esa dirección hasta Santa Cruz de Moya. Entonces, la dirección cambia y pasa a ser NO-SE hasta la desembocadura.

Unos 5 km aguas arriba de Chulilla se localiza el embalse de Loriguilla, el cual funciona en serie con el de Benagéber, de este último parte el Canal del Campo del Turia, que tiene la finalidad de satisfacer las demandas hídricas de esta comarca. Loriguilla también recibe las aportaciones del río Tuéjar. Aguas abajo de Loriguilla las aportaciones más importantes son las del río Sot por la derecha y las de las ramblas Castellana y de la Escarihuela por la izquierda. Estas aportaciones son del tipo intermitente y generalmente en forma de riada.

A la altura del municipio de Vilamarxant, el río abastece los regadíos de Pueblos Castillo mediante las acequias de Lorca, Vilamarxant y Benaguasil. Luego se encuentra la Estación de Tratamiento de Agua Potable de Manises, que abastece a la ciudad de Valencia. Finalmente, a su paso por la Plana da lugar a los regadíos de la

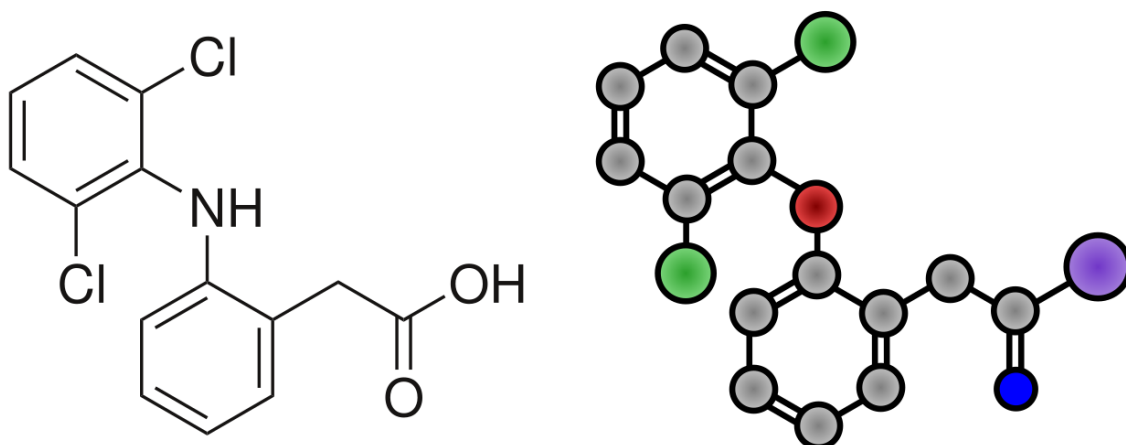


huerta de Valencia a través de la acequia de Moncada y las otras siete acequias tradicionales, administradas jurídicamente por el Tribunal de las Aguas. El final del recorrido está canalizado con el fin de evitar las inundaciones tan frecuentes en esta zona.

El río Turia forma parte de la Confederación Hidrográfica del Júcar, siendo el segundo río más importante de ésta, por detrás del Júcar. Además, su cuenca forma parte del Sistema de Explotación del Turia junto con las cuencas de los barrancos del Poyo y del Carraixet, además de las subcuencas litorales entre el límite norte del término municipal de Puçol y la gola de El Saler. La superficie total comprendida por el Sistema de Explotación es de 7.231,25 km<sup>2</sup>. A continuación se muestra la población total equivalente del sistema.

#### **4.2. Diclofenaco**

La sustancia diclofenaco es un medicamento antiinflamatorio no esteroide (AINE) comúnmente empleado. Se utiliza generalmente como analgésico con el fin de reducir dolores y para tratar trastornos inflamatorios, especialmente artritis y reumatismos. El diclofenaco se obtiene principalmente en forma de sal sódica o potásica en el Reino Unido, India, Brasil, en Estados Unidos y en más países. En España se suministra mayormente mediante el fármaco Voltaren como sal sódica (Hans-Rudolf Buser et al., 1998).



*Ilustración 4-1. Esquema químico diclofenaco.*

El diclofenaco ha sido identificado como uno de los medicamentos con mayor relevancia en las estaciones depuradoras de aguas. La Directiva Marco del Agua (EC, 2000) establece las estrategias frente a la contaminación del agua y a su vez propone una identificación de sustancias prioritarias. De esta forma se recoge una lista de sustancias que pueden presentar un riesgo significativo en las masas de agua del medio ambiente según las indicaciones de la DMA (MMA, 2010). Dicha lista ha sido modificada dos veces, la primera en el 2008 y la segunda en el 2012 mediante la propuesta (COM(2011) 876). En esta última versión el diclofenaco consta en el Anexo I como la sustancia prioritaria número 48. Así mismo, la propuesta indica en el Anexo II los Estándares de Calidad Medioambiental, donde se diferencia un promedio anual de la concentración y un máximo admisible (Aldekoa Martínez, 2013). Sin embargo, para el caso del diclofenaco únicamente se ha definido el promedio anual, de 0.1  $\mu\text{g/l}$  en aguas interiores superficiales y de 0.01  $\mu\text{g/l}$  en otras aguas. El máximo admisible no queda establecido en esta propuesta por falta de información (EC, 2000).

#### *4.2.1. Consumo*

El consumo anual de fármacos a nivel mundial hace unos pocos años se establecía en 15 g per cápita. Esta cifra en países desarrollados aumenta hasta 50 o 150 g (Pal et al., 2010). Además, debido a la creciente media de edad de la población y la tendencia del genoma humano, se prevé un aumento en el uso de medicamentos en un futuro próximo (Jones et al., 2010).



El diclofenaco es uno de estos fármacos de uso internacional. El método de administración varía entre pastillas, cápsulas, supositorios, soluciones intravenosas, y pomadas y geles de aplicación dérmica (Hans-Rudolf Buser et al., 1998). Se estima un consumo anual total a nivel mundial de 940 toneladas (Al-Rajab et al., 2010).

A pesar de que los estudios sugieren una profunda investigación acerca de los patrones del diclofenaco, debido a su significativo impacto en el medio ambiente, apenas existen datos de consumo local en España con el fin de estimar el uso del medicamento en cuestión y en particular en el área de estudio para este proyecto (Aldekoa Martínez, 2013).

### *4.2.2. Metabolización*

Tras la administración del diclofenaco al cuerpo humano, este último lo expulsa a modo de excreción y se descarga en el sistema de aguas residuales, al igual que el resto de medicamentos. La excreción ocurre una vez el fármaco es completamente o parcialmente metabolizado por el cuerpo humano. Como resultado, compuestos tanto inalterados como conjugados del diclofenaco son descargados mediante orina y heces (Carballa et al., 2008).

De acuerdo con varios estudios, el 90% de la eliminación del diclofenaco sucede 3 o 4 horas después de su consumo. El patrón de metabolitos expulsados es independiente del modo de administración. Son varias las formas en las que pueden derivar los compuestos conjugados del diclofenaco, pero la más común es el 4-hidroxiclofenaco. Alrededor de un 40-50% de la dosis expulsada en forma de orina y heces viene de esta forma conjugada (Johnson et al., 2007), lo cual implica que un máximo de un 50-60% de la parte expulsada viene en la forma original del diclofenaco.

### *4.2.3. Degradación*

#### *4.2.3.1. EDARS*

Los medicamentos alcanzan las estaciones depuradoras de aguas residuales a través de la excreción o emisiones deliberadas directas en el sistema de aguas residuales. Las plantas de tratamientos, por lo común, no están diseñadas para eliminar





productos farmacéuticos. No obstante, estos productos químicos sufren varios procesos de degradación debido a las diferentes fases de tratamientos antes de ser descargados en el medio natural.

El transporte de los fármacos por el sistema de alcantarillado antes de llegar a la EDAR también puede dar lugar a ciertos procesos de degradación. Sin embargo, las condiciones en términos de tiempo de residencia, temperatura, contenido en sólidos y aireación no son favorables para generar una notable biodegradación (Carballa et al., 2008).

Estos compuestos químicos, y que principalmente tienen lugar en la fase de tratamientos secundarios, a causa de las altas concentraciones de microorganismos. No obstante, también es posible que se den procesos inversos, en los que compuestos conjugados, glucurónidos o de sulfato, son deconjugados debido a grandes cantidades de enzimas  $\beta$ -glucuronidasas.

Hay que tener en cuenta que, aunque se hable de eficiencia de eliminación de las EDARs, como consecuencia de los procesos físicos y químicos internos en las depuradoras, la pérdida de la sustancia original puede estar ligada a biotransformaciones. Es decir, no se tiene porqué dar una eliminación del diclofenaco en el sentido estricto de la palabra, sino una transformación en metabolitos y similares.

La eficiencia de las EDARs para eliminar productos farmacológicos depende tanto de las propiedades físico-químicas del compuesto en sí, como de los tratamientos específicos de cada planta. Por lo tanto, las capacidades de solubilidad acuosa, volatilidad, lipofilicidad y otras características del diclofenaco tendrán una directa influencia en los procesos de degradación (Carballa et al., 2008). Ciertos estudios y prácticas en laboratorios revelan que el diclofenaco está compuesto por moléculas moderadamente biodegradables, pero débilmente afectables por la adsorción o absorción (Johnson et al., 2007).



#### 4.2.3.2. Medio natural

Las depuradoras tienen sus puntos de vertido en el medio natural, es decir, en el agua del río, mar, embalse u otros sistemas similares. En el caso del Turia interesa la descarga a ríos donde se da el transporte, la degradación y la sorción (adsorción y absorción) de los compuestos farmacéuticos hasta la desembocadura. La información acerca del comportamiento del diclofenaco en el medio natural es especialmente variable. Por un lado, varios autores manifiestan que el diclofenaco puede ser afectado por fuertes procesos de transformación y en consecuencia sufre importantes reducciones. Por otro lado, otros autores definen el diclofenaco como un soluto conservativo.

Por lo general, varios investigadores coinciden en la poca capacidad de sorción del diclofenaco lo cual, al mismo tiempo, implica una capacidad baja de adsorción a sólidos y su posterior sedimentación (Hans-Rudolf Buser et al., 1998; Kunkel and Radke, 2011). A pesar de que es función del tipo de sedimento entre otros, ciertos modelos estiman una ratio constante ( $d^{-1}$ ) de sedimentación de 0.005 (Jiskra and Hollender, n.d.; Tixier et al., 2003).

#### 4.2.3.3. Suelos

Gran parte de los estudios centrados en la degradación del diclofenaco analizan el comportamiento de este componente en el medio natural acuoso, es decir, en aguas de ríos o lagos. Sin embargo, una pequeña parte de los estudios también tratan de comprender la degradación en suelos. Esto se debe a que en zonas de cultivos también se extrae agua de ríos para abastecer las necesidades de regadíos, y, por tanto, diferentes fármacos y más contaminantes pueden acabar depositados en suelos agrícolas.

Investigaciones de laboratorio han concluido que, en suelos con altas temperaturas, presencia de microorganismos, condiciones aeróbicas e insaturadas del agua, la constante de degradación puede variar entre 0.0234 y 0.2236  $d^{-1}$  (Al-Rajab et al., 2010). Estos son valores comparables con los obtenidos en aguas naturales.



#### *4.2.4. Impactos medioambientales*

Este tipo de fármacos, aparte de ser transportados por el sistema de aguas de alcantarillado y por el agua natural, interactúan con los organismos vivos que se establecen en estos medios. Esta interacción puede variar según el compuesto químico y según las condiciones ambientales.

El contaminante diclofenaco provoca cierta toxicidad a pájaros y alteraciones en la composición de microsistemas de biofilm, así como efectos sub-letales en daphnias y embriones de peces. Este medicamento puede implicar altos riesgos de fitotoxicidad sólo en concentraciones que no se presentan en el medio ambiente; no obstante, sus productos conjugados de la fotodegradación pueden presentar de cinco a seis veces niveles más altos de toxicidad (Aldekoa Martínez, 2013).

Además de estos efectos en organismos en el agua, no es menos relevante el hecho de que el agua se extrae de los ríos para suministrar agua potable en ciudades u otras áreas urbanas, y a su vez, esta agua puede contener diclofenaco, entre otras sustancias farmacológicas.

#### **4.3. Modelo de simulación**

Antes de empezar con el modelo de calidad se debe desarrollar el de cantidad de agua, y asegurarse que éste funciona correctamente. A continuación, se muestra el modelo utilizado además de sus elementos (Pedro-Monzonís, 2015).

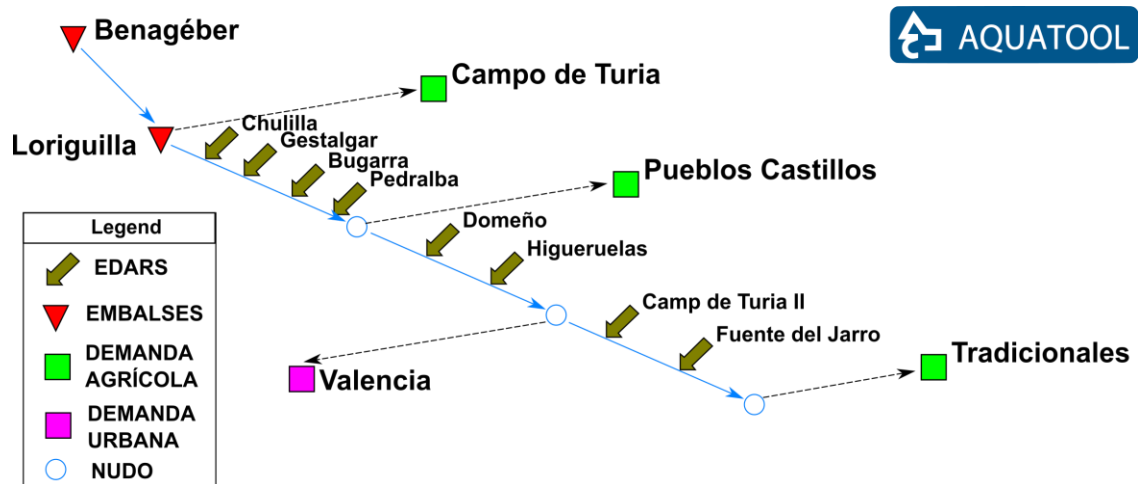


Ilustración 4-2. Modelo simplificado de simulación del sistema Turia.

En la figura anterior se muestra un esquema simplificado del modelo completo de simulación. En él se destacan las principales fuentes de aporte y demandas del sistema.

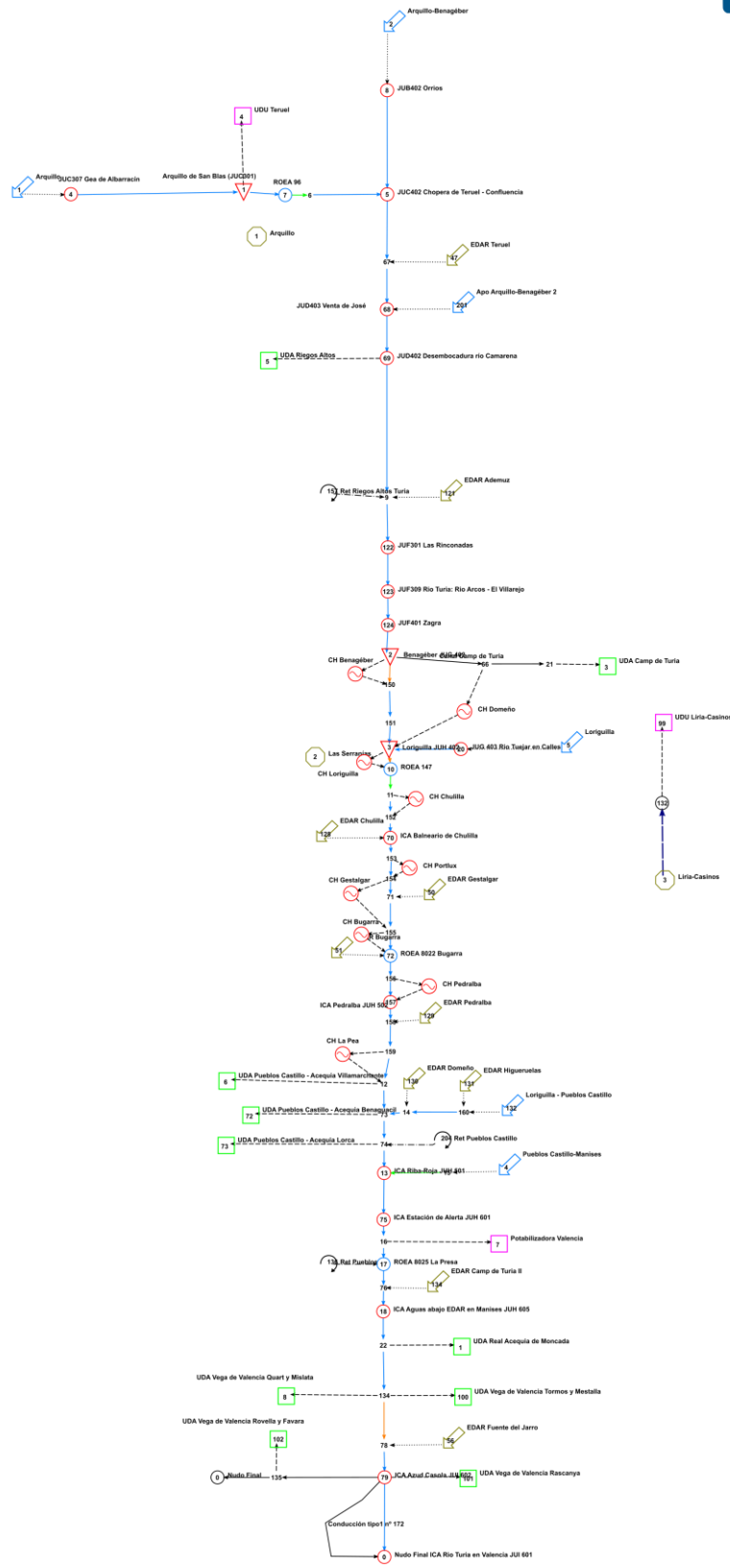


Ilustración 4-3. Esquema completo de simulación del sistema Turia.



### 4.3.1. Acuíferos

La unidad hidrogeológica más relevante para la calidad del agua en Valencia es el acuífero Liria-Casinos, que posee una superficie aflorante de alta permeabilidad con una extensión de 475 km<sup>2</sup> y formado por materiales de diferentes edades: Jurásico, Cretácico, Terciario y Cuaternario. Cabe destacar que los recursos de esta unidad hidrogeológica pueden presentar problemas de calidad para el abastecimiento, sobre todo por su habitual alta concentración de nitratos.

## ACUÍFEROS

- 1 Arquillo
- 2 Las Serranías
- 3 Liria-Casinos

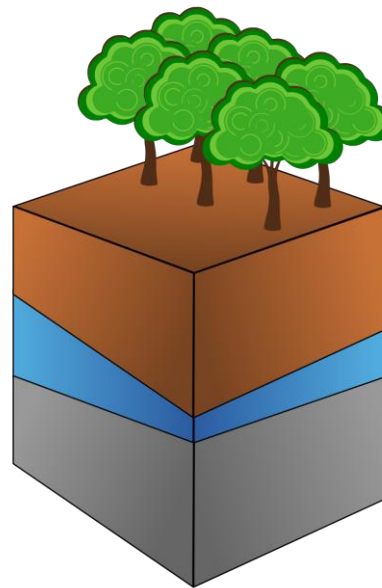
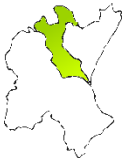


Ilustración 4-4. Acuíferos del modelo de simulación del sistema Turia.

### 4.3.2. Aportes

Las aportaciones del modelo pueden dividirse en tres grupos. Por un lado, están las naturales, que son las provenientes de las escorrentías que suceden durante los episodios de tormenta. Estas escorrentías circulan por torrentes y pequeños cauces, muchas veces de manera intermitente y van a parar finalmente al cauce del río. Al ser las de mayor volumen, son las que determinan en mayor medida el caudal que circulará por el cauce (Guzman, 2015). Dentro de este grupo también puede incluirse a la aportación que representa las salidas del embalse de Loriguilla. El segundo grupo está formado por los vertidos controlados de las EDAR, son caudales



muy pequeños, que no tienen prácticamente relevancia a la hora de valorar la cantidad de recurso del sistema, pero sí que tienen mucha importancia en el análisis cualitativo del agua, dadas las altas concentraciones de ciertos contaminantes que suelen presentar. Por último, están las escorrentías incontroladas de los municipios, son masas de agua que no pueden ser canalizadas correctamente y acaban en el río sin ningún tratamiento, por lo que su capacidad contaminante es alta, a pesar de su escaso volumen.

## APORTES

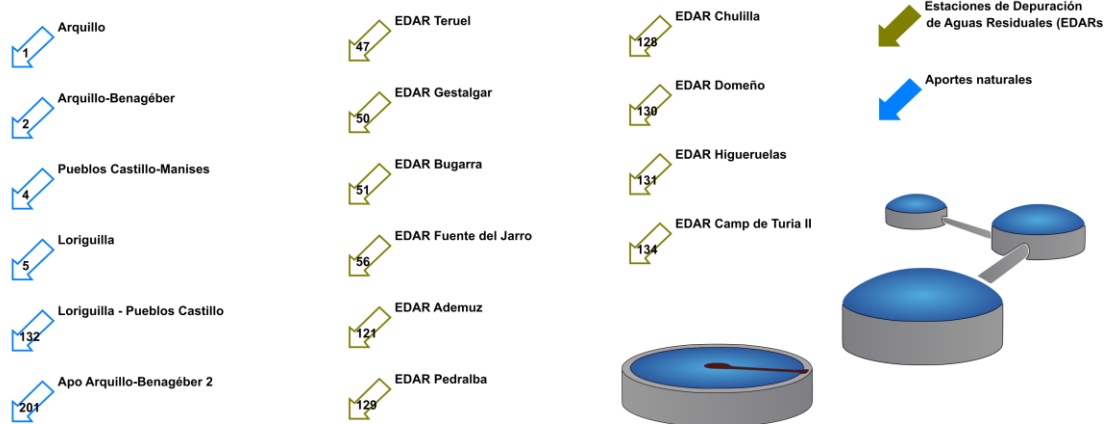


Ilustración 4-5. Aportes del modelo de simulación del sistema Turia.

### 4.3.3. Centrales Hidroeléctricas

Aunque forman parte del modelo de simulación no tienen un impacto importante en la simulación de la calidad del agua que se está tratando en este informe. De todas formas, se describen ya que son un elemento más del sistema.



## CENTRALES HIDROELÉCTRICAS

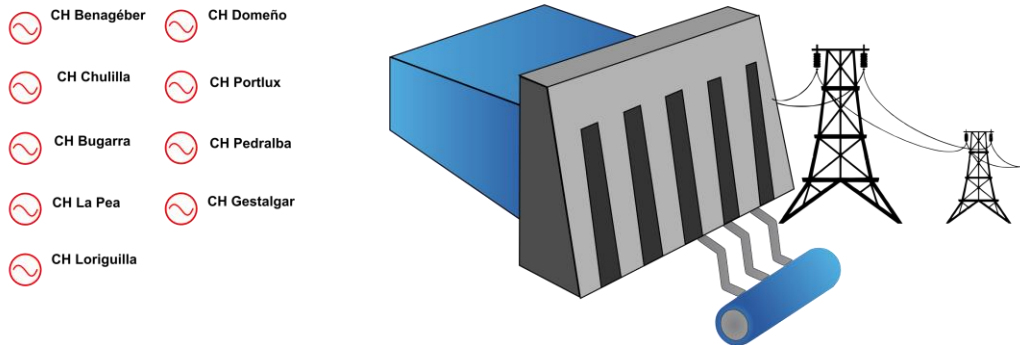


Ilustración 4-6. Centrales hidroeléctricas del modelo de simulación del sistema Turia.

### 4.3.4. Demandas

Las principales demandas del sistema son las demandas agrarias, repartidas por todo el sistema. También se modelan las demandas urbanas, destacando las de la ciudad de Teruel y la de la ciudad de Valencia.

## DEMANDAS

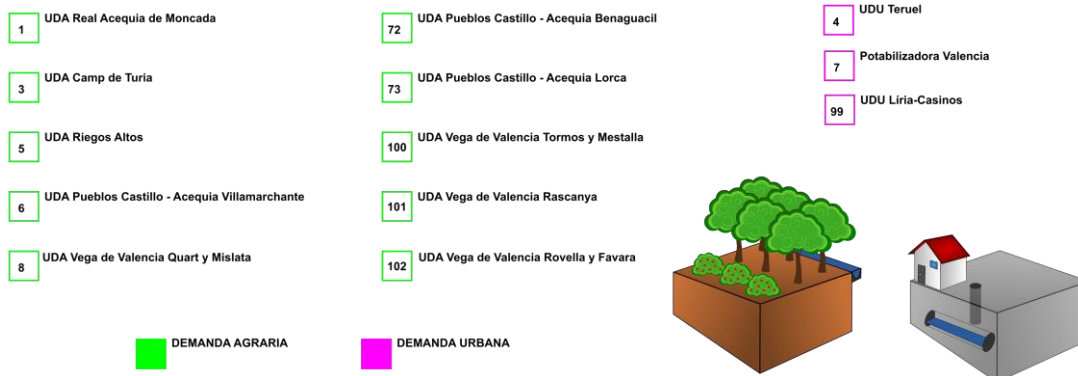
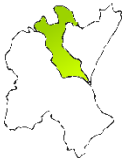


Ilustración 4-7. Demandas del modelo de simulación del sistema Turia.

### 4.3.5. Embalses

En cuanto a las infraestructuras de regulación presentes en el sistema, se cuenta con tres grandes embalses: Arquillo de San Blas, Benagéber y Loriguilla. Además, en el río Sot se localiza el embalse de Buseo, pero por su escasa capacidad no ejerce una



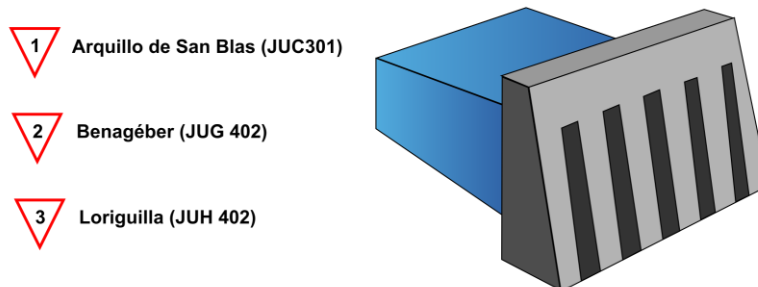


gran influencia sobre el funcionamiento del sistema. La siguiente tabla muestra las principales características de cada uno de ellos.

Embalse	Usos	Tipo	Río	Capacidad (Hm3)
Arquillo de San Blas	Abastecimiento Regadío Piscifactoría Laminación de avenidas Usos Recreativos Producción de energía	Gravedad	Guadalaviar	21,02
Benagéber	Abastecimiento Regadío Usos Recreativos Producción de energía	Gravedad	Turia	221,34
Loriguilla	Abastecimiento Regadío Usos Recreativos Producción de energía	Gravedad	Turia	22,42 (73,21)

*Ilustración 4-8. Características de los embalses del sistema de explotación Turia. (Fuente: PHJ 2009-2015, Anejo VI, Sistemas de Explotación).*

## EMBALSES



*Ilustración 4-9. Embalses del modelo de simulación del sistema Turia.*

### 4.3.6. Retornos

La demanda agraria de Camp de Turia utiliza tanto recursos superficiales como subterráneos. Los retornos producidos son totalmente subterráneos y se infiltran en el acuífero Liria-Casinos.

La demanda agrícola de Pueblos Castillo se abastece únicamente de recursos superficiales. Habitualmente su suministro es superior a sus necesidades reales, como consecuencia de ello, se produce un volumen de retornos importante.



## RETORNOS

136 Ret Pueblos

157 Ret Riegos Altos Turia

204 Ret Pueblos Castillo

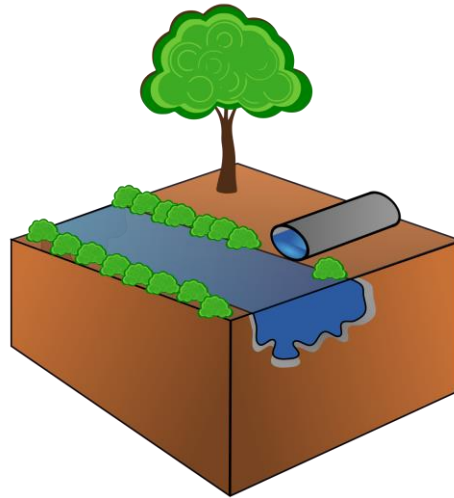


Ilustración 4-10. Retornos del modelo de simulación del sistema Turia.

### 4.3.7. Ríos

Las conducciones que unen cada uno de los puntos del modelo son los tramos de río en la realidad. Existen varios tipos de conducciones en función de las relaciones que tiene está con el medio.

## RIOS

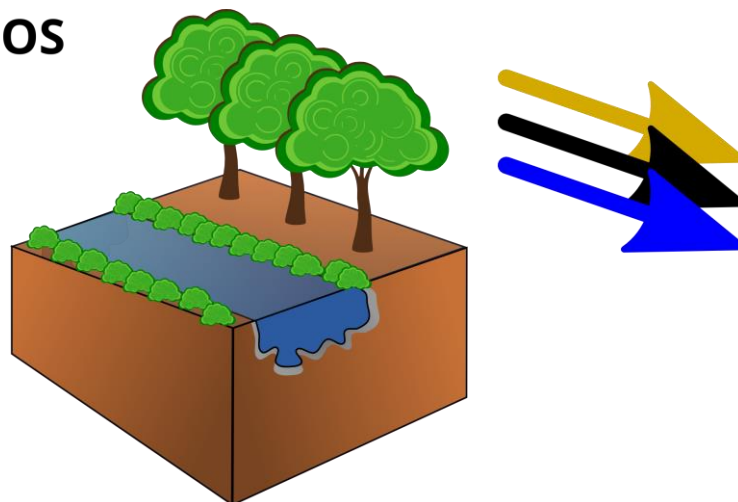
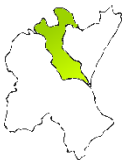


Ilustración 4-11. Tramos de río del sistema Turia.

Podemos observar en la siguiente tabla todos los tramos del modelo y su longitud correspondiente.



Tramos de río	Longitud [m]	Tramos de río	Longitud [m]
Guadalaviar: cabecera - Arquillo	6297	Turia: Río Arcos - El Villarejo	1980
Guadalaviar: salidas Arquillo	1000	Turia: EDAR Ademuz - Rinconadas	17560
Guadalaviar: Arquillo - Alfambra	5360	Turia: El Villarejo - E. Benagéber	13980
Retorno filtraciones Arquillo	1100	Turia: E. Benagéber	200
Alfambra	31800	Turia: Azud Tormos - EDAR Fuente del Jarro	1900
Turia: Qmin Loriguilla	15	Acequia de Rovella y Favara	1000
Turia: Retorno Filtraciones Loriguilla	2100	Salidas hacia Albufera	1000
Apo Pueblos Castillo-Manises	1000	Turia: Qmin Benagéber	15
Turia: Abastecimiento Vlc - La Presa	250	Turia: Benagéber - Loriguilla 1	14820
Tuéjar	1000	Turia: Benagéber - Loriguilla 2	3000
Turia	600	Turia: CH Chulilla	5900
Canal Camp de Turia	1000	Turia: Loriguilla - Río Sot	1600
Canal Camp de Turia 2	1000	Turia: Río Sot - Bco Teulada 1	980
Turia: Alfambra-Matanza 1	4370	Turia: CH Portlux	2480
Turia: Alfambra-Matanza 2	8375	Turia: Río Sot - Bco Teulada 2	2240
Turia: Alfambra-Matanza 3	2670	Turia: CH Gestalgar	4270
Turia: Matanza-EDAR Ademuz	25850	Turia: CH Bugarra	1730
Turia: Río Sot - Bco teulada 7	2100	Turia: CH Pedralba	1550
Turia: Río Sot - Bco teulada	4350	Turia: CH La Pea	5350
Turia: Rambla Castellana - ICA Riba-Roja	7485	Turia: Río Sot - Bco Teulada 4	1000
Turia: ICA Riba-Roja - Estación de Alerta	5730	Turia: Río Sot - Bco Teulada 5	1950
Turia: ICA Estación Alerta - Toma EMSHI	100	Turia: Río Sot - Bco Teulada 6	600
Turia: ROEA La Presa - EDAR Camp de Turia II	400	Rambla Castellana - Turia	6200
Turia: EDAR Camp de Turia - ICA Manises	370	Rambla Castellana	22325
Turia: Azud Casola - Mar	10000	Turia: Azud Moncada - Azud Tormos	4420
Turia: EDAR Fuente del Jarro - Azud Casola	1675	Conducción tipo1 nº 172	1000

*Ilustración 4-12. Longitudes de tramos de ríos en el modelo Turia.*

#### 4.4. Simulaciones

A continuación, se muestran los resultados de la simulación del modelo que representa la Cuenca del río Turia. Se han separado dos apartados, el primero de ellos, para mostrar los resultados de la simulación de la cantidad de agua. El segundo apartado se muestran las concentraciones en los puntos más representativos del modelo.





#### 4.4.1. Cantidad de agua

El modelo de distribución de agua se ha sido calibrado y validado. Una manera fácil de hacer esto ha sido comparando los volúmenes reales medidos en las principales estaciones de registro del sistema (de color azul) con los volúmenes simulados en los mismos depósitos de agua (de color rojo) Este proceso se llevó a cabo entre octubre de 2004 septiembre de 2014, y se puede observar que la serie reales y simuladas fueron muy similares (Pedro-Monzonís, 2015).

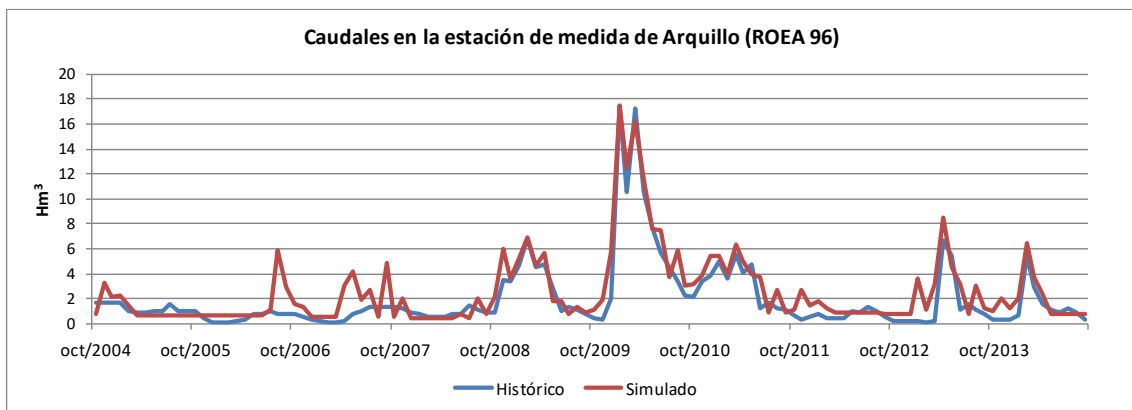


Ilustración 4-13. Comparación de los flujos de agua observados en Arquillo y simulado por el modelo.

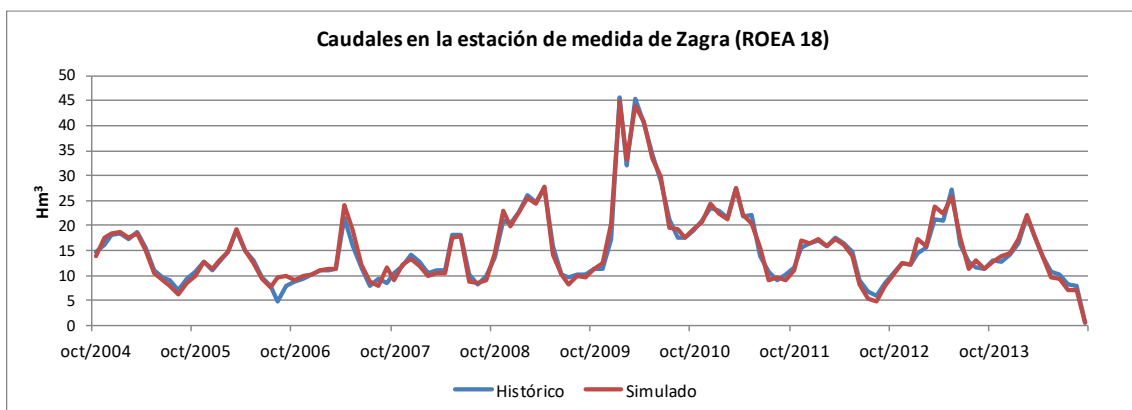


Ilustración 4-14. Comparación de los flujos de agua observados en Zagra y simulado por el modelo.

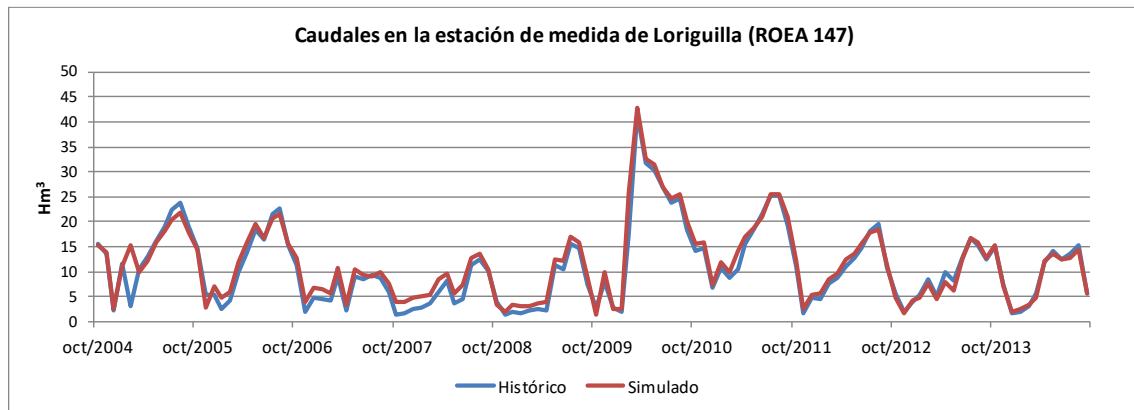


Ilustración 4-15. Comparación de los flujos de agua observados en Loriguilla y simulado por el modelo.

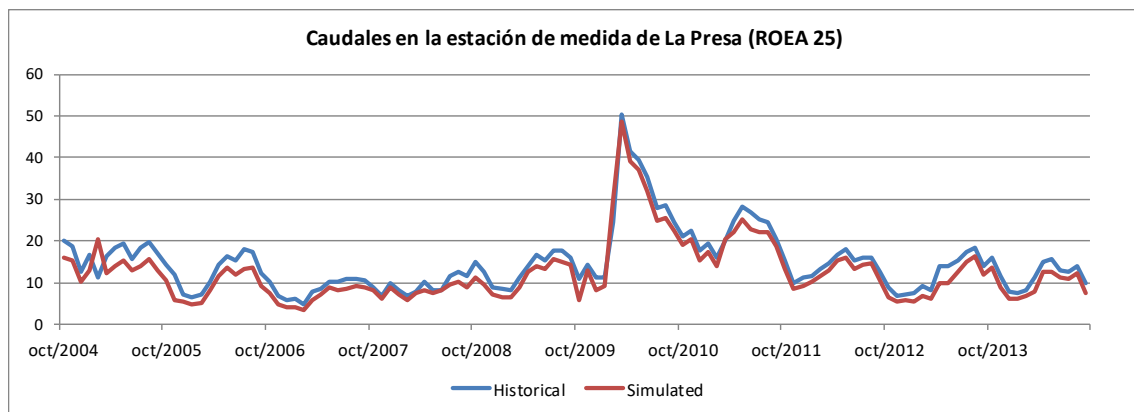
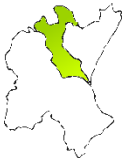


Ilustración 4-16. Comparación de los flujos de agua observados en La Presa y simulado por el modelo.

La calibración de los volúmenes en los embalses del sistema demuestra que el modelo de cantidad de agua representa la realidad. Esta primera comprobación es importante ya que los resultados de la simulación de la calidad de agua dependen directamente de los resultados preprocesados de volúmenes de agua.



#### 4.4.2. Calidad del agua

En esta parte se muestran los resultados de las concentraciones en los principales puntos del modelo para los sólidos suspendidos y el contaminante emergente estudiado Diclofenaco.

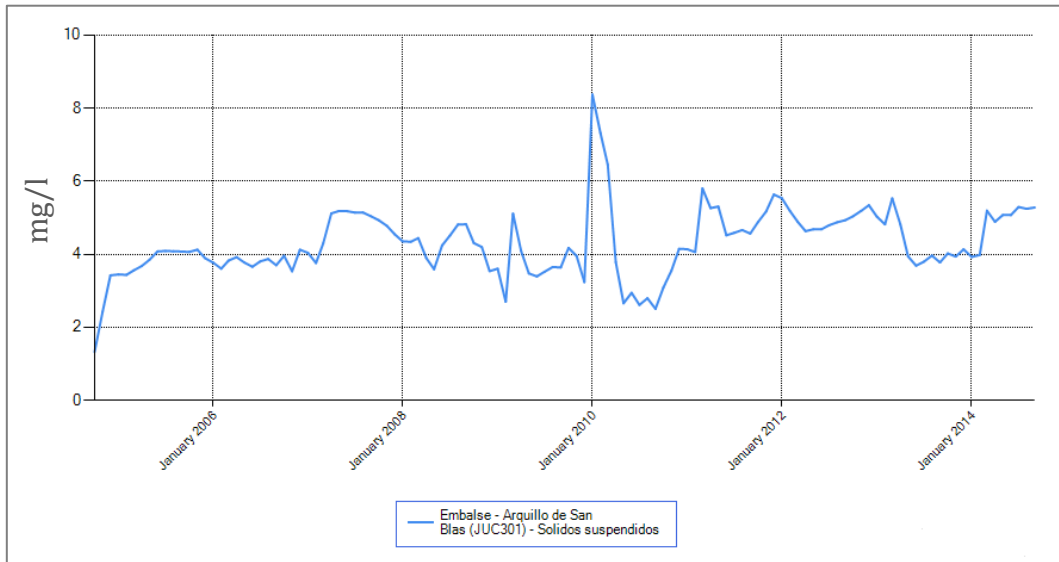


Ilustración 4-17. Concentraciones de Sólidos Suspendedos [mg/l] en el embalse de Arquillo de San Blas.

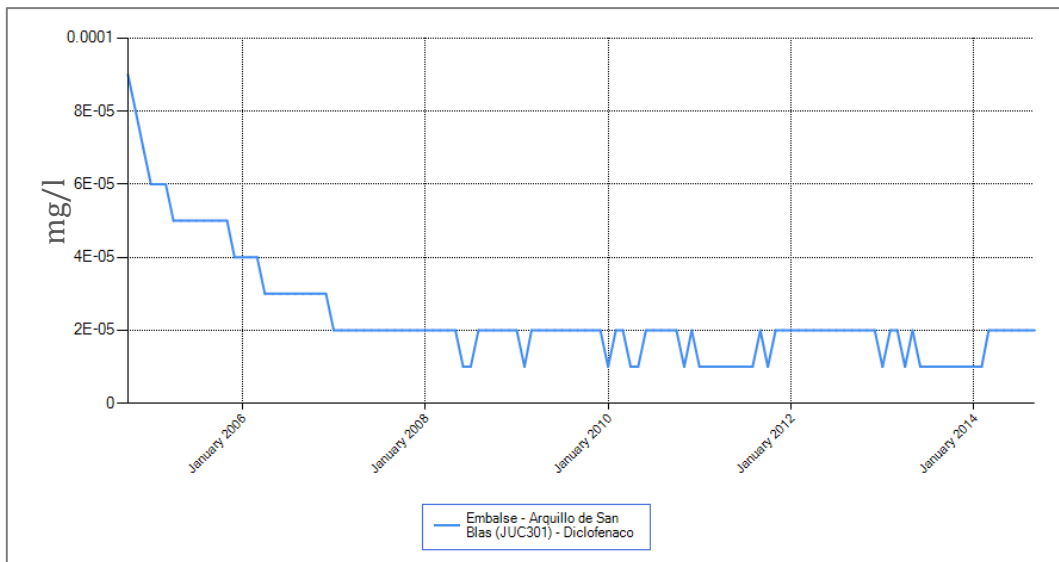


Ilustración 4-18. Concentraciones de Diclofenaco [mg/l] en el embalse de Arquillo de San Blas.

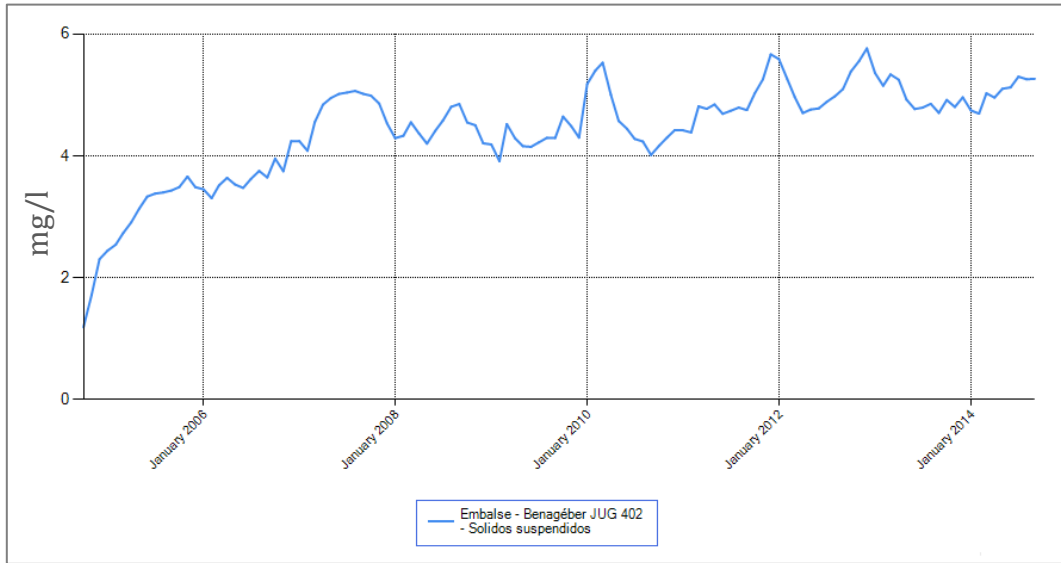


Ilustración 4-19. Concentraciones de Sólidos Suspendidos [mg/l] en el embalse de Benagéber.

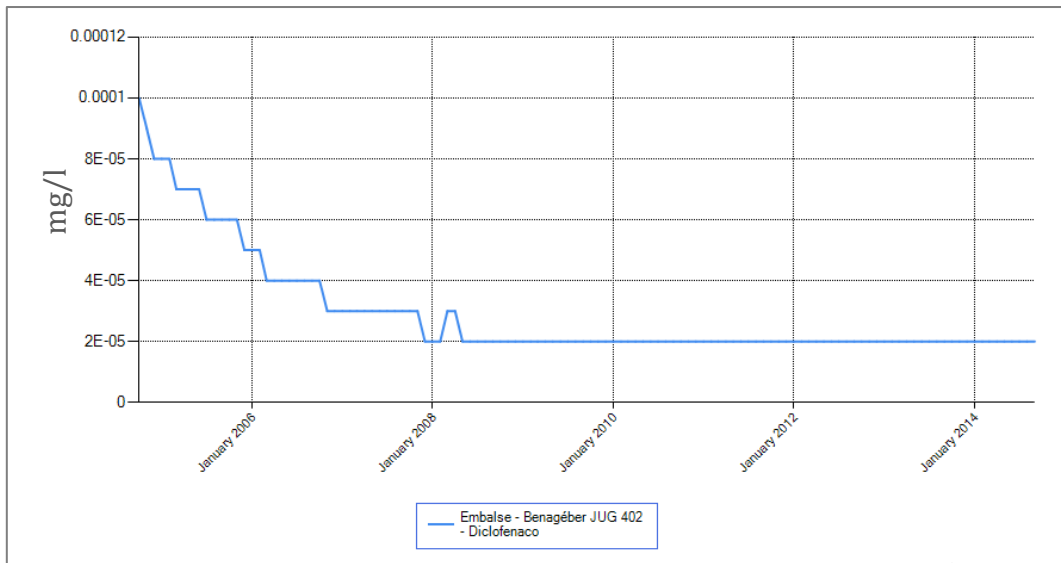


Ilustración 4-20. Concentraciones de Diclofenaco [mg/l] en el embalse de Benagéber.



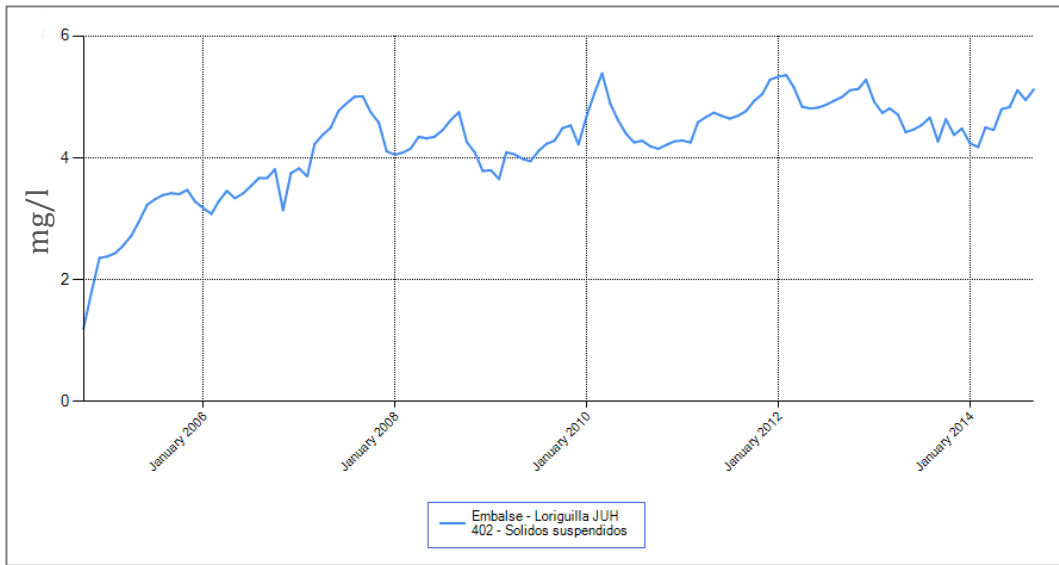


Ilustración 4-21 Concentraciones de Sólidos Suspendidos [mg/l] en el embalse de Loriguilla.

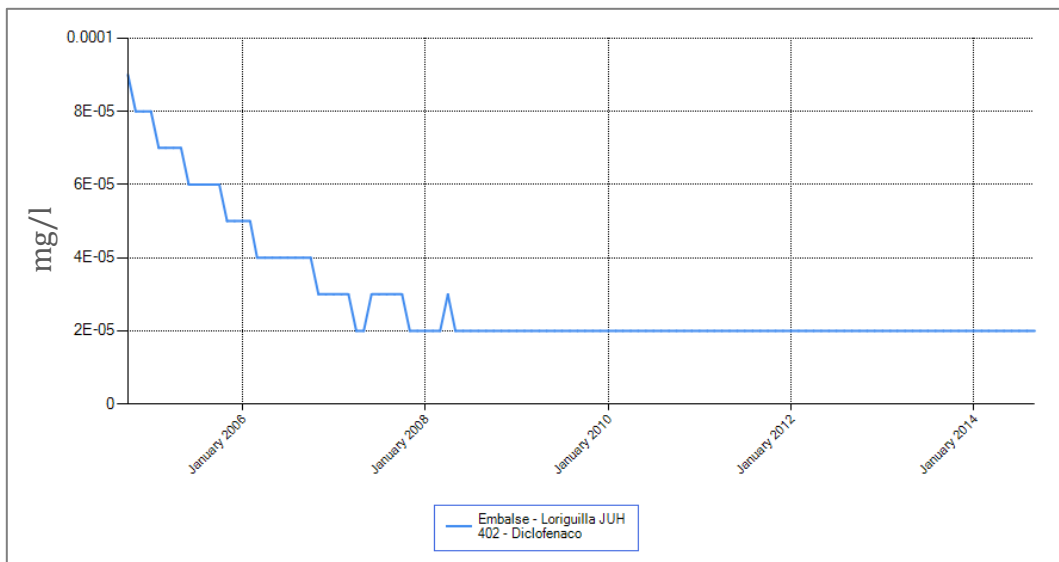


Ilustración 4-22. Concentraciones de Diclofenaco [mg/l] en el embalse de Loriguilla.

También se representarán los tramos de río más representativos del sistema:

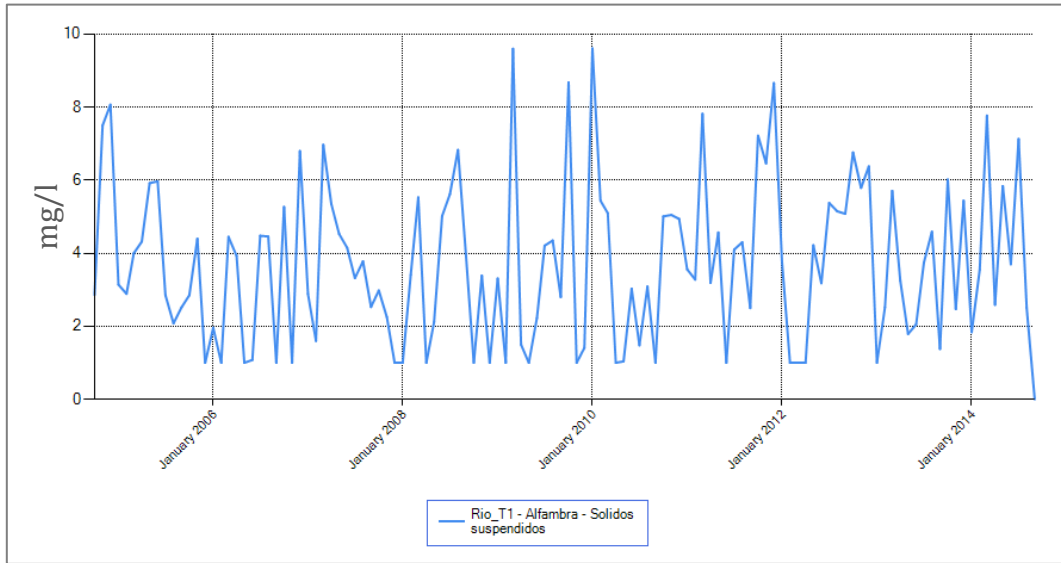


Ilustración 4-23. Concentraciones de Sólidos Suspendidos [mg/l] en el embalse de Alfambra.

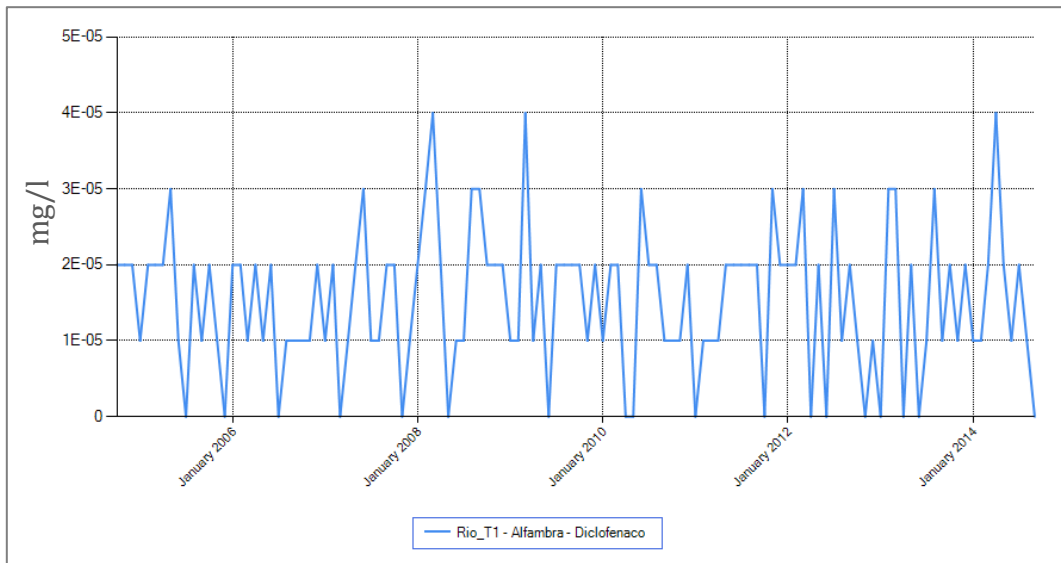


Ilustración 4-24. Concentraciones de Diclofenaco [mg/l] en el embalse de Alfambra.

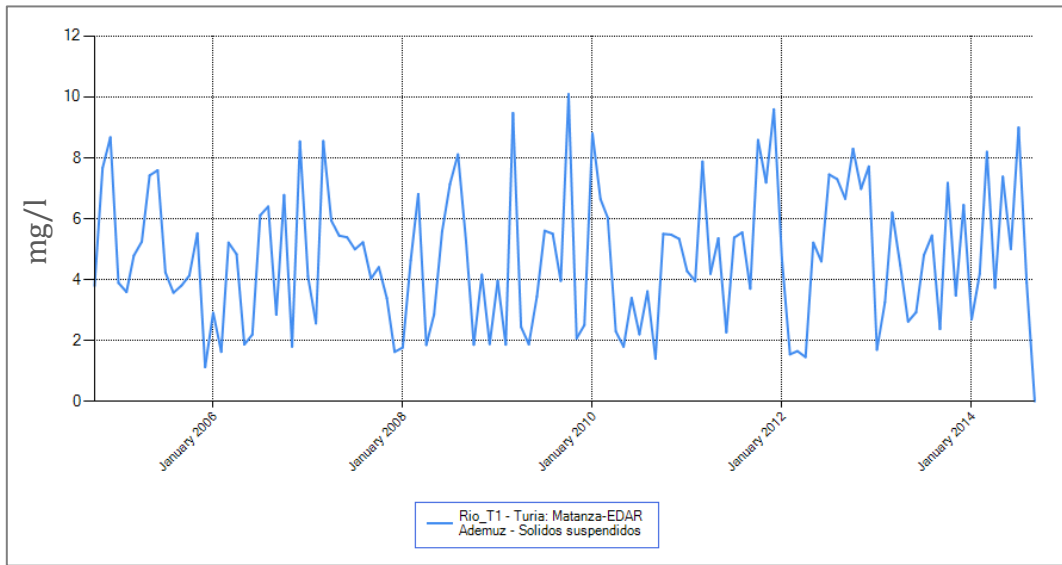


Ilustración 4-25. Concentraciones de Sólidos Suspendidos [mg/l] en el embalse de Manzanar-EDAR Ademuz.

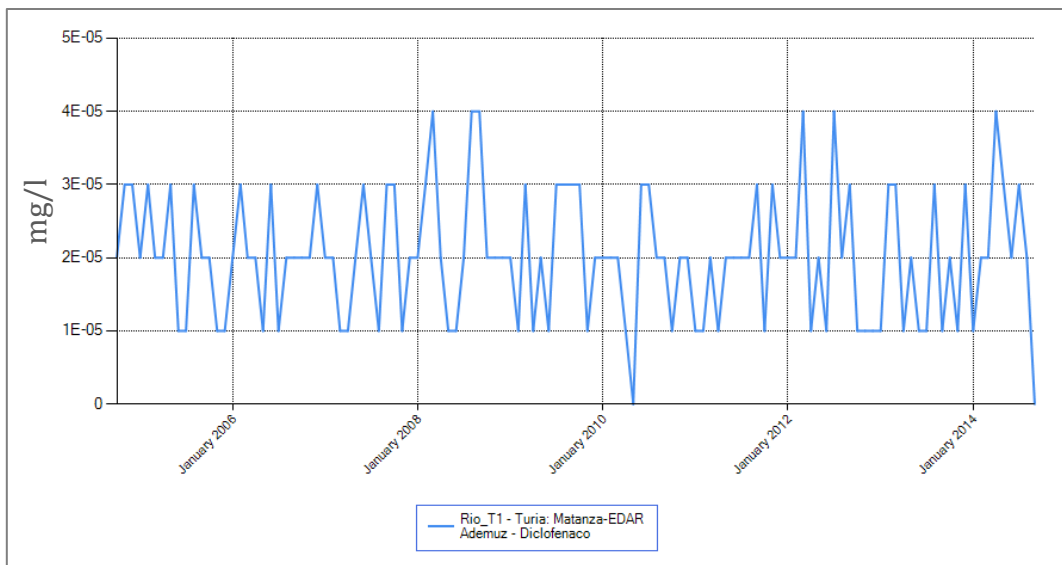


Ilustración 4-26. Concentraciones de Diclofenaco [mg/l] en el embalse de Matanza-EDAR Ademuz.

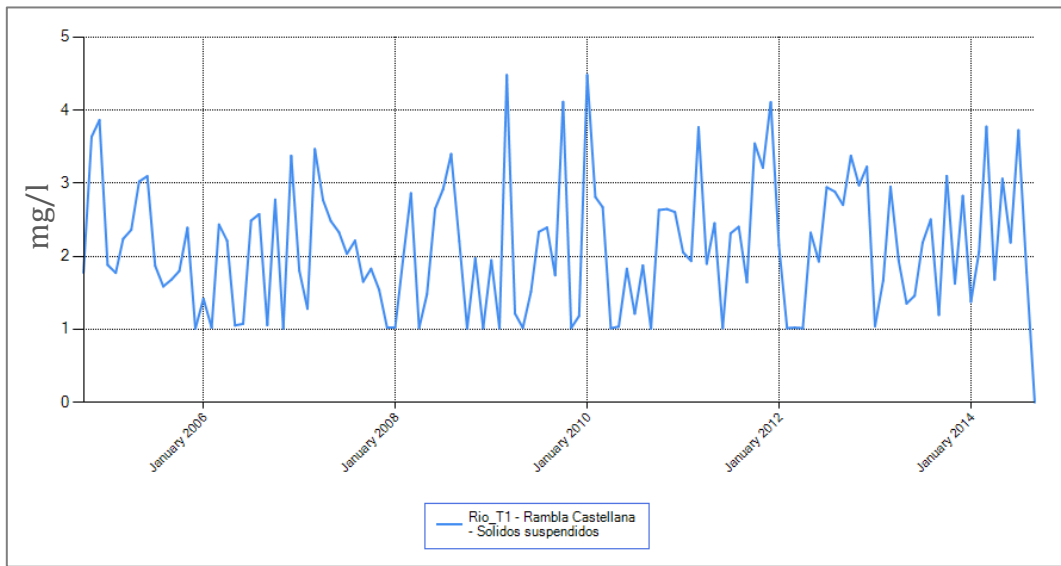


Ilustración 4-27. Concentraciones de Sólidos Suspending [mg/l] en el embalse de Rambla Castellana.

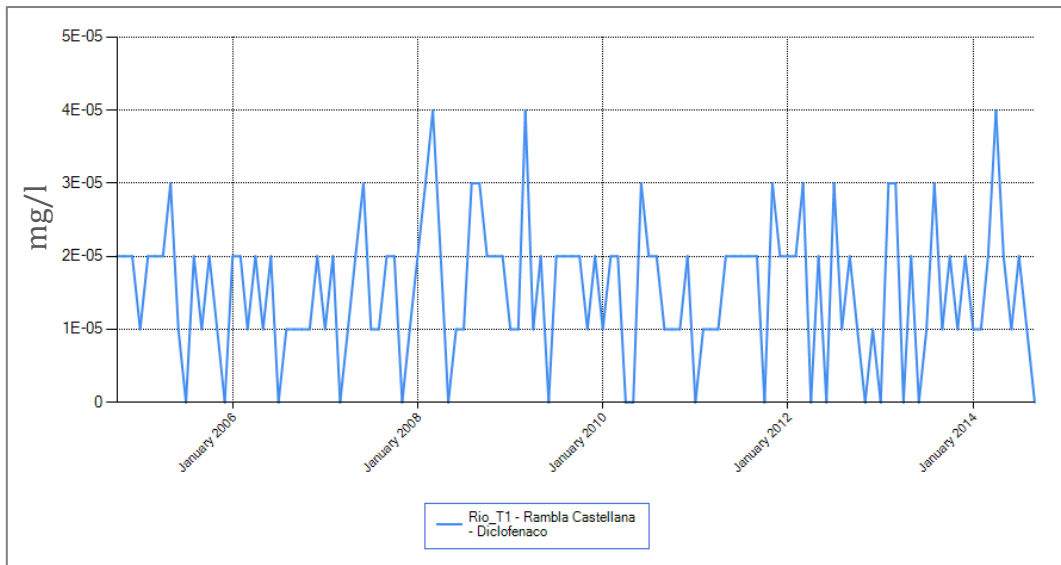


Ilustración 4-28. Concentraciones de Diclofenaco [mg/l] en el embalse de Rambla Castellana.



## 5. CONCLUSIONES

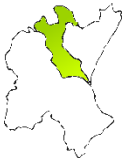
Se ha conseguido el principal objetivo de este trabajo que era el desarrollo de un modelo de calidad de agua para el contaminante tóxico diclofenaco. Se han introducido todos los datos necesarios y se han obtenido unos resultados de la simulación del mismo. Se ha comprobado el correcto funcionamiento del módulo GESCAL para la simulación de contaminantes tóxicos.

Con el fin de alcanzar el objetivo principal se han llevado a cabo las siguientes actividades:

- La simulación del modelo de calidad de agua de la cuenca del río Turia. Comprobando el correcto funcionamiento del mismo y analizando los datos del mismo.
- La comprobación de aportes al modelo. El análisis de los inputs del modelo ha permitido comprobar que la serie de datos utilizada se correspondía con la realidad a modelar.
- La recopilación de información de calidad de aguas (Físico-Químico). Recogida de datos necesarios para la implementación y comprobación del modelo.
- El análisis de las variables de estado del modelo. Se han podido analizar las concentraciones en cada uno de los elementos que constituyen el modelo. Al comprobar que los resultados de las simulaciones correspondían con los valores bibliográficos, se puede determinar el correcto funcionamiento del modelo.

El desarrollo del modelo de calidad de aguas. Finalmente se ha obtenido un modelo de simulación de contaminantes tóxicos ajustado a la realidad modelada. Este modelo permite la simulación de escenarios para la comprobación del correcto funcionamiento del mismo y para determinar las concentraciones del sistema.





## 6. REFERENCIAS

- Aldekoa Martínez, J., 2013. Estudio del comportamiento y efecto del contaminante emergente diclofenaco en la cuenca del Llobregat (Cataluña), mediante su modelación en estado estacionario con GREAT-ER.
- Al-Rajab, A.J., Sabourin, L., Lapen, D.R., Topp, E., 2010. The non-steroidal anti-inflammatory drug diclofenac is readily biodegradable in agricultural soils. *Sci. Total Environ.* 409, 78–82. doi:10.1016/j.scitotenv.2010.09.020
- Andreu, J., Capilla, J., Sanchís, E., 1996. AQUATOOL, a generalized decision-support system for water-resources planning and operational management. *J. Hydrol.* 177, 269–291. doi:10.1016/0022-1694(95)02963-X
- Belda, E., 2015. Desarrollo de herramientas para el análisis y modelación de calidad de aguas en humedales. Aplicación en el ámbito del Parque Natural de La Albufera de Valencia.
- Belda, E., 2013. Evaluación y propuesta de actuaciones para la mejora de la calidad del agua en el lago de La Albufera, Valencia. Universitat Politècnica València.
- Carballa, M., Omil, F., Lema, J.M., 2008. Comparison of predicted and measured concentrations of selected pharmaceuticals, fragrances and hormones in Spanish sewage. *Chemosphere* 72, 1118–1123. doi:10.1016/j.chemosphere.2008.04.034
- Chapra, S.C., 2003. Engineering Water Quality Models and TMDLs. *J. Water Resour. Plan. Manag.* 129, 247–256. doi:10.1061/(ASCE)0733-9496(2003)129:4(247)
- EC, 2000. Directiva 2000/60/CE del Parlamento Europeo y del Consejo. D. Of. Las Comunidades Eur. 1–73.
- Guzman, J., 2015. Propuesta de mejora de la calidad del agua en el tramo medio bajo del río Turia en épocas de sequía.
- Hans-Rudolf Buser, \*, Thomas Poiger, and, Müller, M.D., 1998. Occurrence and Fate of the Pharmaceutical Drug Diclofenac in Surface Waters: Rapid



### Photodegradation in a Lake.

Hernández-Crespo, C., Martín, M., 2015. Determination of background levels and pollution assessment for seven metals (Cd, Cu, Ni, Pb, Zn, Fe, Mn) in sediments of a Mediterranean coastal lagoon. *Catena* 133, 206–214. doi:10.1016/j.catena.2015.05.013

Jiskra, M., Hollender, J., n.d. Fate of the pharmaceutical diclofenac in the aquatic environment.

Johnson, A.C., Keller, V., Williams, R.J., Young, A., 2007. A practical demonstration in modelling diclofenac and propranolol river water concentrations using a GIS hydrology model in a rural UK catchment. *Environ. Pollut.* 146, 155–165. doi:10.1016/j.envpol.2006.05.037

Jones, O.A.H., Voulvoulis, N., Lester, J.N., 2010. Human Pharmaceuticals in the Aquatic Environment a Review. <http://dx.doi.org/10.1080/09593332208618186>.

Kunkel, U., Radke, M., 2011. Reactive Tracer Test To Evaluate the Fate of Pharmaceuticals in Rivers.

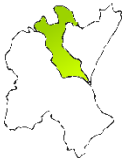
Martín, M., Marzal, P., 1999. Modelación de la calidad del agua. Universitat Politècnica de València.

MMA, 2010. La Situación actual y los Problemas Existentes y Previsibles., in: Libro Blanco Del Agua En España. pp. 195–412 (3B).

Pal, A., Gin, K.Y.-H., Lin, A.Y.-C., Reinhard, M., 2010. Impacts of emerging organic contaminants on freshwater resources: Review of recent occurrences, sources, fate and effects. *Sci. Total Environ.* 408, 6062–6069. doi:10.1016/j.scitotenv.2010.09.026

Paredes, J., 2004. Integración de la modelación de la calidad del agua en un sistema de ayuda a la decisión para la gestión de recursos hídricos. Universitat Politècnica de València, Valencia (Spain). doi:10.4995/Thesis/10251/1895





- Paredes, J., Lund, J.R., 2006. Refill and drawdown rules for parallel reservoirs: Quantity and quality. *Water Resour. Manag.* 20, 359–376. doi:10.1007/s11269-006-0325-4
- Paredes, J., Solera, A.S., 2013. Modelo gescal para la simulación de la calidad del agua en sistemas de recursos hídricos.
- Paredes-Arquiola, J., Andreu-Álvarez, J., Martín-Monerris, M., Solera, A., 2010. Water Quantity and Quality Models Applied to the Jucar River Basin, Spain. *Water Resour. Manag.* 24, 2759–2779. doi:10.1007/s11269-010-9578-z
- Pedro-Monzonís, M., 2015. Estimation of pollutants and pathogens in the drinking water treatment station (ETAP) located in Manises (Valencia). *PIONEERS INTO Pract.*
- Solera, A., Paredes-arquiola, J., Andreu Álvarez, J., Pedro-Monzonís, M., 2014. Aplicaciones de Sistemas Soporte a la Decisión en Planificación y Gestión Integradas de Cuencas Hidrográficas. Marcombo.
- Tixier, C., Singer, H.P., Oellers, S., Müller, S.R., 2003. Occurrence and fate of carbamazepine, clofibric acid, diclofenac, ibuprofen, ketoprofen, and naproxen in surface waters. *Environ. Sci. Technol.* 37, 1061–8.