



**MEMORIA DE LAS ACCIONES DESARROLLADAS.  
PROYECTOS DE MEJORA DE LA CALIDAD DOCENTE.  
VICERRECTORADO DE PLANIFICACIÓN Y CALIDAD.  
XII CONVOCATORIA (2011-2012)**



## **DATOS IDENTIFICATIVOS:**

### **1. Título del Proyecto**

LABORATORIO VIRTUAL PARA ESTUDIOS DE PROCESOS DE TRANSPORTE DE SUSTANCIAS EN AGUAS SUPERFICIALES

### **2. Código del Proyecto**

115025

### **3. Resumen del Proyecto**

Se expone una experiencia piloto para la adaptación de técnicas de aprendizaje cooperativo y el uso de herramientas TIC. Se propone el desarrollo de una interfaz gráfica que permitiría a los alumnos disponer de un laboratorio virtual para una mejor comprensión de los procesos de transporte en fluidos, en particular, en masas de agua, y ser capaces de aplicar dicho conocimiento para calcular los aspectos necesarios para cuantificar los flujos de masa y energía en dichos sistemas y estimar la evolución de su estado de calidad.

En paralelo se plantea la resolución de casos como método de aprendizaje de forma que el alumnado pasa a ser responsable de su propio aprendizaje. Así, una vez planteado el caso relacionado con algún proceso de transporte, se aprovechan las ventajas que ofrecen las TIC en el modelado del proceso, de cara a predecir consecuencias, posibles medidas correctoras, comportamiento de diferentes sustancias condicionado a sus características químicas, etc.

### **4. Coordinador del Proyecto**

<b>Nombre y Apellidos</b>	<b>Departamento</b>	<b>Código del Grupo Docente</b>	<b>Categoría Profesional</b>
Cristina Aguilar Porro	Agronomía	060	Profesora sustituta interina
María José Polo Gómez	Agronomía	060	Profesora titular

### **5. Otros Participantes**

<b>Nombre y Apellidos</b>	<b>Departamento</b>	<b>Código del Grupo Docente</b>	<b>Categoría Profesional</b>
Eva Contreras Arribas	Agronomía	060	Contratada a proyecto
Marta Egüen Sánchez	Estructuras (UGR)	060	Contratada FPI

### **6. Asignaturas afectadas**

<b>Nombre de la asignatura</b>	<b>Área de conocimiento</b>	<b>Titulación/es</b>
Degradación ambiental: suelo y agua	Ingeniería hidráulica	Ing. Agrónomos e Ing. Montes
Hidráulica e hidrología torrencial	Ingeniería Hidráulica	Ing. Montes
Procesos de transporte y mezcla	Ingeniería Hidráulica	Máster Hidráulica Ambiental
Procesos en la interfaz suelo-agua-planta	Ingeniería Hidráulica	Máster Hidráulica Ambiental
Gestión Integral de cuencas	Ingeniería Hidráulica	Máster Hidráulica Ambiental
Operación de ríos y embalses y calidad de aguas	Ingeniería Hidráulica	Máster Hidráulica Ambiental

## MEMORIA DE LA ACCIÓN

### Especificaciones

*Utilice estas páginas para la redacción de la Memoria de la acción desarrollada. La Memoria debe contener un mínimo de cinco y un máximo de diez páginas, incluidas tablas y figuras, en el formato indicado (tipo y tamaño de fuente: Times New Roman, 12; interlineado: sencillo) e incorporar todos los apartados señalados (excepcionalmente podrá excluirse alguno). En el caso de que durante el desarrollo de la acción se hubieran producido documentos o material gráfico dignos de reseñar (CD, páginas Web, revistas, vídeos, etc.) se incluirá como anexo una copia de buena calidad.*

### Apartados

#### **1. Introducción** (justificación del trabajo, contexto, experiencias previas etc.)

En general, los fenómenos de transporte en medio fluido hacen referencia a la habilidad de los fluidos en movimiento para transferir sustancias (cualquier componente), energía o cantidad de movimiento de un punto a otro del espacio ocupado por el fluido, y cambiar sus propiedades. El ámbito de aplicación del estudio de procesos de transporte es muy variado: investigación básica y aplicada, hidrología y flujos asociados, transporte de sedimentos, vertidos a cauces y otras masas de agua, procesos industriales, contaminación de atmósfera, aguas y suelos, calidad de aguas y suelos, emisiones atmosféricas, legislación, etc.

Los procesos de transporte se estudian mediante el planteamiento de las ecuaciones de balance de masa, energía y cantidad de movimiento en un volumen de control y fijando las condiciones iniciales y de contorno del problema. De este modo, surgen ecuaciones que en función de la escala espacial y temporal de trabajo y del nivel de detalle requerido en el estudio, pueden llegar a resultar complejas de solucionar de forma analítica y en algunos casos necesario recurrir a métodos numéricos. Sin embargo, el amplio ámbito de aplicación del estudio de procesos de transporte hace que sea necesario abordar su análisis de una forma lo más realista posible. Además, el ensayo de procesos con algún tipo de mecanismo de transporte involucrado resulta a menudo complejo de realizar tanto en laboratorio como en campo, al depender de la ocurrencia natural o forzada de los mismos (ej. Lluvia-escorrentía, producción de sedimentos, descargas contaminantes controladas o incontroladas, etc.) y dada la gran diversidad de sustancias o componentes implicados con sus respectivas características químicas con influencia en los procesos analizados. En cualquier caso se requiere el planteamiento de un diseño experimental complejo y el estudio de sustancias aisladas en condiciones controladas que reproduzcan el proceso de estudio (ej. Estudios con trazadores).

Por otro lado, las implicaciones estructurales y metodológicas del Espacio Europeo de Educación Superior (EEES), constituyen una nueva interacción entre estudiantes y profesores. Así, el aprendizaje actual debe incluir actividades diversas donde el alumno participa activamente en sustitución del mero receptor pasivo de conocimiento predominante en modelos tradicionales de enseñanza, mientras que el profesorado universitario pasa a actuar como un orientador del aprendizaje del alumno (Declaración de Bolonia, 1999). En este contexto, la resolución de casos como método de aprendizaje responde a una metodología activa en línea con los nuevos diseños curriculares de asignaturas del EEES complementada con herramientas informáticas disponibles que aporten sus características interactivas, de instantaneidad, conectividad, flexibilidad, etc. La experiencia que proponemos constituye un avance hacia las modalidades de formación

propuestas en el Espacio Europeo de Enseñanza Superior, complementando la resolución de casos, con uso de TIC.

La resolución de casos permite al docente diseñar actividades significativas que generen aprendizaje para desarrollar por parte del alumno tanto dentro como fuera de la clase. Además, motiva al alumnado a informarse, discutir, contrastar y a ser autónomo y facilita el desarrollo de competencias transversales. Para ello, el docente prepara previamente una situación relacionada con los contenidos de la asignatura que se haya dado o se pueda dar en la realidad, y se presenta al estudiante para su análisis, su discusión y decisión. Así, el alumnado pasa a ser responsable de su propio aprendizaje, aceptando la ayuda del profesor-tutor en la adquisición de conocimiento, es capaz de trabajar en equipo compartiendo conocimiento y se encuentra en condiciones de ejercer el análisis, la síntesis y la investigación como proceso de aprendizaje.

En esta propuesta se propone una vez planteado un caso relacionado con algún proceso de transporte, aprovechar las ventajas que ofrecen las TIC en el modelado del proceso, de cara a predecir consecuencias, posibles medidas correctoras, comportamiento de diferentes sustancias condicionado a sus características químicas, etc. El uso de las TIC en el proceso de enseñanza-aprendizaje, posibilita tanto al alumno como al profesor, superar los límites de tiempo y espacio que presenta la modalidad didáctica tradicional (Sharpe et al., 2003). Así se logran alcanzar un conjunto de resultados entre los que se destacan:

- El incremento del nivel científico de las asignaturas al vincular las mismas con las TIC.
- El perfeccionamiento de la calidad del proceso de enseñanza-aprendizaje.
- Contribuir a la formación en el uso de las nuevas tecnologías de la información y de la comunicación, de los futuros profesionales de Ingeniería.
- El desarrollo de habilidades en el uso de programas científicos y profesionales a alumnos que serán en breve titulados.
- El desarrollo del pensamiento lógico y análisis de diferentes casos.

Esta iniciativa plantea una experiencia piloto para la adaptación de técnicas de aprendizaje cooperativo y el uso de herramientas TIC en el estudio de procesos de transporte y mezcla en aguas superficiales. Se propone así el uso de una herramienta interactiva en el desarrollo y perfeccionamiento de habilidades de modo que los alumnos clarifiquen los conceptos teóricos y visualicen procesos que cuando se producen en la naturaleza, pueden tener consecuencias nocivas y para los que la única forma de observarlo en la práctica sería por tanto en laboratorio o en campo bajo condiciones muy controladas y a menudo con sustancias tipo (ej. Trazadores). Con ello, el alumno adquiere las siguientes **competencias** necesarias en el estudio de procesos de transporte:

- Planteamiento de problemas de transporte en general, en cualquier ámbito de aplicación de la hidráulica ambiental.
- Identificar y modelar los principales procesos dominantes y sus agentes forzadores.
- Establecer analogías entre distintos casos y modelarlos de forma semejante.

Dicha herramienta serviría para la resolución de diferentes casos de estudio en función del proceso a analizar, variable implicada, condiciones iniciales, etc. (ej. Vertido puntual accidental de un sustancia contaminante conservativa por parte de una industria en un tramo de un cauce que abastece para consumo humano a una población aguas abajo) y se podría utilizar como una especie de laboratorio virtual de cara al análisis de la influencia de las distintas variables y parámetros implicados en el proceso. Así, se potencia el enfoque autónomo del aprendizaje y por

tanto se promueven el desarrollo de habilidades personales y el análisis y síntesis de información del proceso de estudio. En concreto, con el uso de esta herramienta se potencia en el alumnado:

- 1.- Capacidad de aplicar los conocimientos teóricos a las prácticas.
- 2.- Capacidad de análisis y síntesis mediante la gestión de la información obtenida.
- 3.- Resolución de problemas mediante la resolución de los casos planteados en la tercera línea de actuación.
- 4.- Toma de decisiones mediante el manejo de información a través de la herramienta informática en cuanto al estado de mezcla espacial y variabilidad temporal requeridos en la caracterización del proceso de estudio.

En definitiva, el uso de la interfaz gráfica permitiría a los alumnos disponer de un laboratorio virtual para una mejor comprensión de los procesos de transporte en fluidos, en particular, en masas de agua, y ser capaces de aplicar dicho conocimiento para calcular los aspectos necesarios para cuantificar los flujos de masa y energía en dichos sistemas y estimar la evolución de su estado de calidad.

## **2. Objetivos**

El objetivo principal es desarrollar una herramienta informática para el estudio por parte del alumnado de procesos de transporte y mezcla en aguas superficiales como pieza clave para la resolución de casos planteados por el docente.

- ### **3. Descripción de la experiencia** (exponer con suficiente detalle lo realizado en la experiencia)
- Se desarrollaron tres actividades de forma secuencial que se detallan a continuación.

#### **Actividad 1**

El desarrollo de la herramienta propuesta requirió en primer lugar por parte del profesor una implicación absoluta en el desarrollo de la misma, ya que es el que mejor conocimiento tiene sobre los objetivos que se pretenden alcanzar. Por tanto, una vez identificados los fundamentos de procesos de transporte de cantidad de movimiento, energía y masa y derivadas las soluciones completas de las ecuaciones de transporte, se plantearon y programaron las soluciones integradas temporal y espacialmente. En dichas soluciones se incluyen parámetros que dependen de la sustancia analizada (cinética química, dinámica de sedimentación, etc.) y de las condiciones de contorno de la masa de agua (temperatura, tiempo de residencia, etc.).

#### **Actividad 2**

Una vez programadas las ecuaciones implicadas, se implementaron en una interfaz gráfica sencilla que permite analizar y visualizar diferentes procesos de transporte en función del nivel de simplificación espacial y temporal adoptado. Se consideraron cuatro niveles:

- Mezcla completa en estado de equilibrio o transitorio
- Sistemas distribuidos en estado de equilibrio o transitorio

Una vez seleccionado el nivel de detalle espacial y temporal, se incluyeron diferentes tipos de cargas a simular (ej. Instantánea para modelar accidentes de vertido, lineal creciente para modelar aumentos de carga ligados a un aumento lineal en el tiempo con una variable como la población o la producción de una industria, distribuida a lo largo de un tramo de cauce, etc.).

#### **Actividad 3**

Finalmente se plantearon diferentes casos de estudio para ser posteriormente resueltos por parte de los alumnos con apoyo de la herramienta generada. Los diferentes casos planteados

incluyen apartados que van creciendo en complejidad y eliminando hipótesis de partida de cara a caracterizar los procesos de la forma más realista posible.

- 4. Materiales y métodos** (describir la metodología seguida y, en su caso, el material utilizado)  
La metodología seguida se detalla a continuación para cada actividad.

#### **Actividad 1**

Una vez identificados los fundamentos de procesos de transporte de cantidad de movimiento, energía y masa y derivadas las soluciones completas de las ecuaciones para diferentes condiciones de contorno, se generaron las soluciones integradas temporal y espacialmente (Fischer et al., 1979; Chapra, 1997; Bird et al., 2002). La programación de las soluciones analíticas así obtenidas se llevó a cabo en Matlab 7.6.

#### **Actividad 2**

La interfaz gráfica se realizó con ayuda del GUIDE de Matlab. Esta interfaz se desarrolló con un sistema de pestañas y ventanas que permite analizar y visualizar diferentes procesos de transporte en función del nivel de simplificación espacial y temporal adoptado.

Para cada nivel de detalle se programaron diferentes tipos de cargas. Cada caso se programó de forma independiente, detallando en primer lugar las características del sistema, a continuación los parámetros de la función de carga y las condiciones iniciales, y finalmente los parámetros de cálculo (espacio o tiempo e incrementos de los mismos). Los resultados se visualizan en la misma interfaz en forma de gráfica siendo posible en todo momento exportar los resultados del último cálculo en forma de fichero de texto y de figura. Además en cada ventana es posible retroceder un nivel, limpiar los datos introducidos por el usuario para empezar un nuevo cálculo o salir directamente de la interfaz.

Finalmente se generó el ejecutable que permite su funcionamiento en cualquier PC.

#### **Actividad 3**

Se plantearon diferentes casos de estudio que van creciendo en complejidad y eliminando hipótesis de partida de cara a caracterizar los procesos de la forma más realista posible con ayuda de la bibliografía existente sobre el tema y de los casos prácticos preparados por las profesoras implicadas en cursos anteriores.

- 5. Resultados obtenidos y disponibilidad de uso** (concretar y discutir los resultados obtenidos y aquéllos no logrados, incluyendo el material elaborado y su grado de disponibilidad)

El resultado de este proyecto es doble. Por un lado se ha elaborado una herramienta gráfica e interactiva para el desarrollo y perfeccionamiento de habilidades en las asignaturas de transporte y mezcla en aguas superficiales. Por otro, se han planteado cuatro casos de estudio que se encuentran en el Anexo 1.

En cuanto a la herramienta, se trata de un archivo ".exe" que al ejecutarlo actúa como una especie de calculadora para la resolución de los diferentes casos una vez los alumnos han discutido, contrastado y llegado a un consenso sobre el tipo de problema ante el que se encuentran. La figura 1 muestra la primera pantalla de la herramienta en la que los alumnos tienen que seleccionar si es necesario considerar o no los gradientes espaciales de la concentración en el sistema de estudio. A continuación, se determina si se encuentran en condiciones de equilibrio o por el contrario la evolución de la masa de sustancia en el medio varía en el tiempo (figura 2), lo cual vendrá determinado por la forma matemática de la función de carga. Finalmente se selecciona el tipo de carga que actúa en el sistema (figura 3).

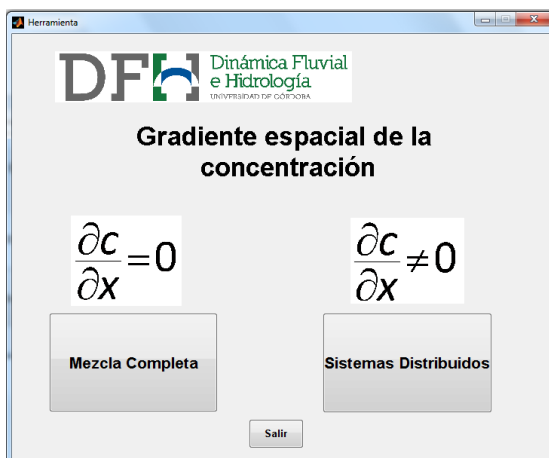


Fig. 1. Selección del gradiente espacial de la concentración

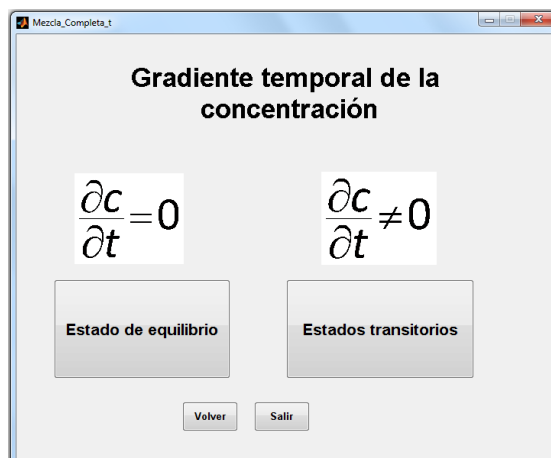


Fig 2. Selección del gradiente temporal en mezcla completa

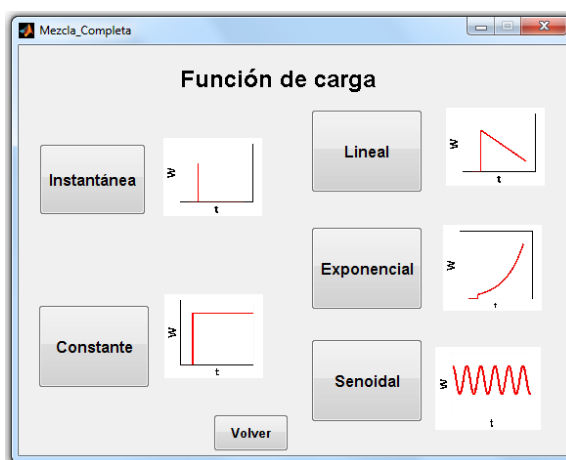


Fig 3. Selección del tipo de carga en estado transitorio y mezcla completa

A continuación en función de la selección previa en cuanto a variación espacial, temporal y tipo de carga, el usuario debe introducir las características del sistema (caudal, volumen, velocidad del flujo, etc.), de la sustancia analizada (constante cinética, velocidad de sedimentación, coeficiente de dispersión, etc.), de la función de carga, condiciones iniciales y parámetros de cálculo. Al realizar el cálculo se visualiza gráficamente en la misma ventana (figura 4), siendo además posible repetir el cálculo solapando las gráficas para ver la variación al modificar un parámetro (ej. sustancia conservativa frente a no conservativa y diferentes valores del tiempo en la figura 5). Además, es posible exportar la figura (figura 6) y los resultados en un fichero de texto denominado c.txt para que el usuario pueda tratar numéricamente el cálculo realizado con alguna hoja de cálculo o lenguaje de programación.

En un futuro se espera ir completando la herramienta con casos más complejos en los que sea necesario incorporar métodos numéricos para la solución de las ecuaciones implicadas.

El material elaborado en este proyecto se presenta en forma cuatro casos de estudio en un documento pdf y la interfaz como un ejecutable. Ambos están disponibles en la página web del grupo (<http://www.uco.es/dfh/>), así como en la plataforma moodle de las asignaturas afectadas. De este modo, se permite el uso generalizado de la herramienta en todo tipo de prácticas en asignaturas relacionadas con Procesos transporte y mezcla en aguas superficiales.

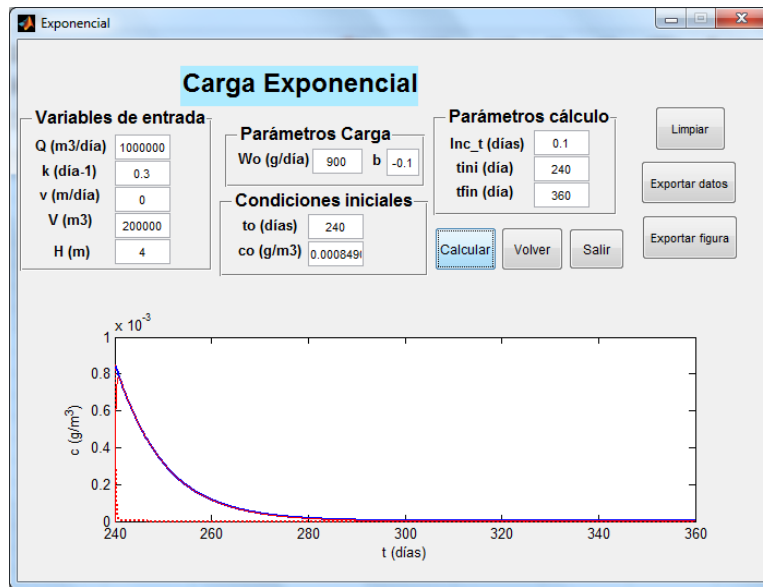


Fig. 4. Evolución temporal de la concentración ante carga exponencial en un sistema en mezcla completa

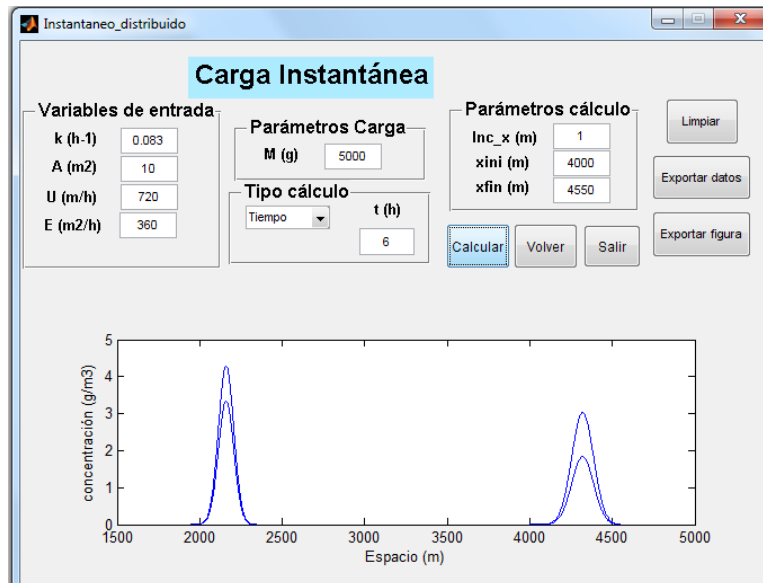


Fig 5. Evolución espacial de la concentración ante carga puntual instantánea en un sistema distribuido al cabo de 3 y 6 horas respectivamente y suponiendo sustancia conservativa y no conservativa

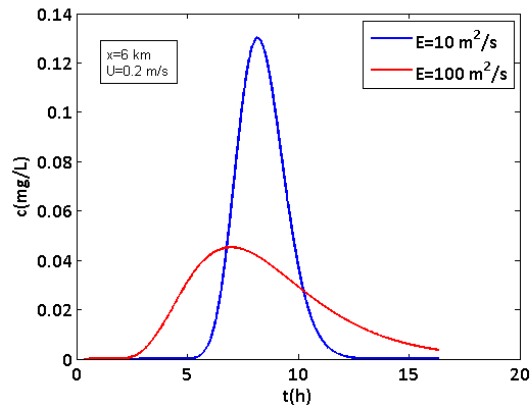


Fig 6. Figura exportada para un caso de estudio en un sistema distribuido y en estado transitorio para dos valores diferentes del coeficiente de dispersión (E)

**6. Utilidad** (comentar para qué ha servido la experiencia y a quiénes o en qué contextos podría ser útil)

La herramienta desarrollada permite la resolución de diferentes casos de estudio en función del proceso a analizar, variable implicada, condiciones iniciales, etc. y se podría utilizar como una especie de laboratorio virtual de cara al análisis de la influencia de las distintas variables y parámetros implicados en el proceso. Los estudiantes pueden así aplicar la herramienta para la solución de diferentes casos de estudio relacionados con procesos de transporte bajo distintas hipótesis de partida:

- Vertido puntual accidental de una sustancia contaminante conservativa por parte de una industria en un tramo de un cauce que abastece para consumo humano a una población aguas abajo.
- Selección de la función de carga apropiada para la escala temporal del caso de estudio.
- Comparar la evolución de un contaminante en función de que sea o no conservativo o de que se considere que existe mezcla completa o no.
- Incluir procesos de dispersión en sistemas distribuidos.
- Evaluar los efectos en la modificación de la capacidad de asimilación de un sistema: añadiendo un catalizador, modificando el tiempo de residencia del agua, etc.
- Estimación de variables de un sistema: velocidad del flujo, coeficiente de dispersión, estudios con trazadores, etc.

Además, los alumnos pueden fácilmente observar el grado de error que se cometería al suponer diferentes hipótesis de partida (ej. Despreciar la variabilidad espacial de la concentración de un compuesto químico a lo largo del eje horizontal en un curso de agua somero, despreciar la variabilidad temporal en la concentración de un herbicida en un embalse, etc.). De este modo, se potencia el enfoque autónomo del aprendizaje y por tanto se promueven el desarrollo de habilidades personales y el análisis y síntesis de información del proceso de estudio.

**7. Observaciones y comentarios** (comentar aspectos no incluidos en los demás apartados)

En las prácticas de asignaturas como *Procesos de transporte y mezcla* y *Operación de ríos y embalses y calidad de aguas*, ambas del Máster de Hidráulica Ambiental se realizaron pruebas piloto con el planteamiento de alguno de los casos y exigiendo la solución de los mismos por parte de los alumnos. Al tratarse en ocasiones de ecuaciones complejas, los alumnos valoraron positivamente la posibilidad de disponer de una herramienta que permitiese visualizar rápidamente el efecto de cambiar algún parámetro o variable. La herramienta desarrollada viene a facilitar esta práctica de manera que al disponer de una especie de laboratorio virtual, permite al alumno una mejor comprensión de los procesos de transporte en fluidos.

**8. Autoevaluación de la experiencia**

La herramienta acaba de ser desarrollada y accesible desde la web por lo que hasta el curso 2012-2013 no se utilizará en el aula. A partir de ese momento se evaluará su utilidad mediante encuestas al alumnado. No obstante, el planteamiento de la misma fue presentado en la sección *Contemporary Education in a new technological world* de la European Geosciences Union (EGU) General Assembly (Aguilar et al., 2012) celebrada en abril de 2012 en Viena recibiendo el premio al mejor póster de la sesión (Anexo 2).



## 9. Bibliografía

Aguilar, C., Egüen, M., Contreras, E., Polo, M.J. 2012. Virtual laboratory for the study of transport processes in surface waterflows. Geophysical Research Abstracts, Vol. 14, EGU2012-8607. <http://meetingorganizer.copernicus.org/EGU2012/EGU2012-8607.pdf>. (accedido 28/09/2012).

Bird, R.B., W.E. Stewart y E.N. Lightfoot. 2002. Transport Phenomena. Wiley. Nueva York.

Chapra, S. C. 1997. Surface water-quality modeling. McGraw-Hill. Singapore.

Declaración de Bolonia, 1999. The Bologna Declaration on the European space for higher education: an explanation. <http://ec.europa.eu/education/policies/educ/bologna/bologna.pdf>, (accedido 28/09/2012).

Fischer, H. B., E. J. List, R. C. Y. Koh, J. Imberger, N. H. Brooks. 1979. Mixing in Inland and Coastal Waters. Academic Press.

Sharpe L., Hu C., Crawford L., Gopinathan S., Khine M.S., Moo S.N, Wong. A., 2009. Enhancing multipoint desktop video conferencing (MDVC) with lesson video clips: recent developments in pre-service teaching practice in Singapore. Teaching and Teacher Education 25: 336–343.

### **Lugar y fecha de la redacción de esta memoria**

Córdoba, 28 septiembre de 2012

## ANEXO 1: CASOS DE ESTUDIO

### CASO A

Una industria descarga  $30000 \text{ m}^3/\text{día}$  de aguas residuales con una concentración de  $200 \text{ mg/L}$  a un lago en mezcla completa cuyo volumen es  $20 \cdot 10^4 \text{ m}^3$ .

- Calcular la concentración en el sistema durante las primeras dos semanas y determinar los parámetros de forma para valorar el impacto de la industria.
- Si continuase esa descarga de forma indefinida, ¿cuál sería la concentración de equilibrio?
- Una vez en el estado de equilibrio si cesa la descarga, ¿cuánto tiempo tarda el sistema en reducir la concentración alcanzada un 99%?
- ¿Cómo variaría la concentración en el estado de equilibrio si aumentase la concentración de la descarga a  $275 \text{ mg/L}$ ?
- Evaluar el efecto de añadir un catalizador que reaccionase en un proceso que, a escala diaria, evolucionase con cinética de primer orden y constante cinética  $k$  de  $0.1 \text{ d}^{-1}$
- ¿Qué otras alternativas se podrían plantear para reducir los niveles de concentración registrados en el lago?

### CASO B

Una laguna con mezcla completa recibe, a través de una acequia de riego, una sustancia contaminante asociada a las prácticas agrícolas de una zona de cultivo adyacente. Estas cargas varían a lo largo del año según las prácticas de riego. El riego comienza en el mes de marzo, produciéndose una carga que aumenta de forma lineal con una pendiente  $b = 10$  hasta el mes de junio, a partir de aquí la carga se mantiene constante durante los meses de verano, de junio a agosto, momento en el que comienza a descender siguiendo una exponencial negativa con  $\beta = -0.1$ . Calcular la evolución de la concentración en la laguna para un año, partiendo de una carga  $W_0 = 0$ , si la laguna tiene un volumen de  $20 \cdot 10^4 \text{ m}^3$ , una profundidad media de  $4 \text{ m}$  y un caudal de entrada de  $10^6 \text{ m}^3 \cdot \text{día}^{-1}$ . La sustancia se degrada siguiendo una reacción de primer orden con constante cinética  $0.3 \text{ día}^{-1}$ . (Para simplificar, considerar los meses de 30 días).

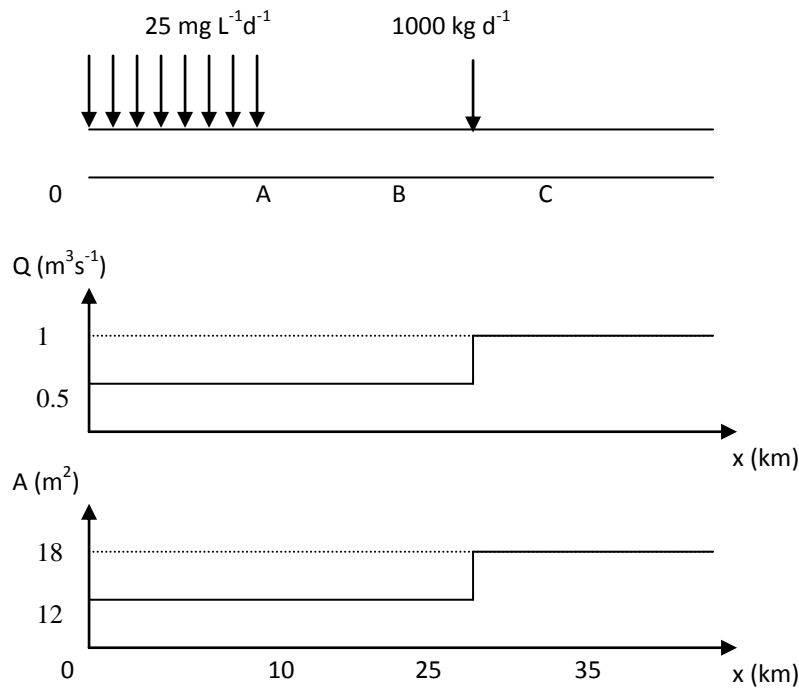
- ¿Aumenta la concentración de la sustancia al final del año con respecto al primer día?
- ¿Y si la sustancia fuese conservativa?

### CASO C

Un canal recibe las descargas que muestra la figura. La condición de contorno en  $x = 0$  es  $c = 10 \text{ mg L}^{-1}$ . Si el contaminante reacciona con una tasa de  $0.2 \text{ d}^{-1}$ :

- Determinar las concentraciones en el estado de equilibrio en los puntos A, B y C.
- ¿Cuál sería la concentración en C si se invirtiesen las descargas de modo que la puntual tuviese lugar en 0 y la distribuida entre A y B?. Considerar para ello que el

caudal y el área se mantienen en todo el tramo en  $1 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$  y en  $18 \text{ m}^2$  respectivamente.



#### CASO D

Se produce el vertido de  $5 \text{ kg}$  de una sustancia conservativa en un arroyo durante aproximadamente  $5$  minutos. El caudal que circula es  $2 \text{ m}^3/\text{s}$  y la sección transversal  $10 \text{ m}^2$ .

1. Calcular la concentración y extensión del vertido y cuánto tiempo tarda en llegar  $6.48 \text{ km}$  aguas abajo.
2. Suponiendo que el vertido se produce de forma instantánea y que el coeficiente de dispersión es  $0.1 \text{ m}^2/\text{s}$ :
  - a. Representar gráficamente la variación temporal de la concentración  $4 \text{ km}$  aguas abajo del vertido si:
    - a.1) La sustancia es conservativa;
    - a.2)  $k=2\text{días}^{-1}$ .
    - a.3) Repetir los cálculos aumentando el coeficiente de dispersión hasta  $100 \text{ m}^2/\text{s}$ .
  - b. Estimar al cabo de las  $3$  horas de producirse el vertido, la zona del cauce con una concentración superior al valor umbral de  $1.5 \text{ mg/L}$ .
  - c. Determinar la extensión del vertido al cabo de las  $3, 6$  y  $9$  horas para un  $95\%$  de masa del contaminante.
  - d. Estimar el tiempo que debe transcurrir para que no se supere en ningún punto del cauce el valor umbral de  $1.5 \text{ mg/L}$ .

ANEXO 2: PREMIO EGU 2012

**ceigram**

Research Centre for the Management  
of Agricultural and Environmental Risks



**POLITÉCNICA**

***Research Center for the Management of Agricultural and Environmental Risks (CEIGRAM)***

***Presents  
Best Poster Award***

***To***

*Cristina Aguilar*

**For the Poster Entitled**

*Virtual laboratory for the study of transport processes in surface water-flows*

***At Session EOS5: Contemporary Education in a New Technological World,***

*held in European Geoscience Union on Tuesday 24, 2012*

*April 24, 2012*

*Michel Mayer*

***Chairman of Poster Session***

*Alberto Garrido*

***Director of CEIGRAM***