

**MEMORIA DE LAS ACTIVIDADES DESARROLLADAS**  
**PROYECTOS DE INNOVACIÓN EDUCATIVA PARA GRUPOS DOCENTES**

CURSO 2013/2014

**DATOS IDENTIFICATIVOS:**

*1. Título del Proyecto*

LABORATORIO VIRTUAL PARA ESTUDIOS DE PROCESOS DE INFILTRACIÓN Y ESCORRENTÍA

*2. Código del Proyecto*

2013-12-5017

*3. Resumen del Proyecto*

Se expone una experiencia para la adaptación de técnicas de aprendizaje cooperativo y el uso de herramientas TIC en el proceso de enseñanza-aprendizaje de los procesos de infiltración y escorrentía. Se propone así el desarrollo de una interfaz gráfica bilingüe (español-inglés) para una mejor comprensión de la interacción del agua y el suelo. Dicha herramienta permite la resolución de diferentes casos de estudio en función del nivel de detalle requerido, espacial y temporal y se puede 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. La herramienta acerca además al alumnado al ámbito científico y permite recrear experimentos reales de campo ejecutados por los profesores.

*4. Coordinador/es del Proyecto*

Nombre y Apellidos	Departamento	Código del Grupo Docente
Cristina Aguilar Porro	Estructuras: Ing. Hidráulica	060
Tom Vanwalleghem	Agronomía: Ing. Hidráulica	060

*5. Otros Participantes*

Nombre y Apellidos	Departamento	Código del Grupo Docente	Tipo de Personal
Juan Vicente Giráldez Cervera	Agronomía: Ing. Hidráulica	060	Catedrático
María José Polo Gómez	Agronomía: Ing. Hidráulica	060	Profesora Titular
Miriam Carpintero García	Agronomía: Ing. Hidráulica		Becaria
Antonio Espejo Pérez	Agronomía: Ing. Hidráulica		Becario

*6. Asignaturas implicadas*

Nombre de la asignatura	Titulación/es
Hidrología forestal	Grado de Ing. Forestal

Hidrología y erosión	Grado de Ing. Agroalimentaria y del Medio Rural
Hidrología y riegos	Grado de Ing. Agroalimentaria y del Medio Rural
Procesos de transporte y mezcla	Máster Hidráulica Ambiental
Procesos en la interfaz suelo-agua-planta	Máster Hidráulica Ambiental
Gestión Integral de cuencas	Máster Hidráulica Ambiental
Operación de ríos y embalses y calidad de aguas	Máster Hidráulica Ambiental

# MEMORIA DEL PROYECTO DE INNOVACIÓN EDUCATIVA PARA GRUPOS DOCENTES

## 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 letra: 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 generado documentos o material gráfico dignos de reseñar (CD, páginas web, revistas, vídeos, etc.) se incluirá como anexo una copia de éstos.

## Apartados

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

El centro de gravedad y objeto principal de estudio de la Hidrología lo constituye el llamado ciclo hidrológico, es decir, el proceso geofísico global por el cual el agua existente en la Tierra se mueve y distribuye entre los distintos componentes de la misma. Dentro de estos componentes el suelo constituye un subsistema clave en el ciclo hidrológico pues constituye el sistema físico de interacción entre atmósfera, hidrosfera y litosfera.

La infiltración del agua en el suelo es el proceso mediante el cual ésta penetra en el espacio poroso del suelo desplazando el aire previamente alojado allí. La importancia del proceso es doble, puesto que, de un lado constituye la recarga del suelo y, de otro, el agua que no se infiltra queda encharcada en la superficie o, si la pendiente lo permite, escurre ladera abajo. Durante una tormenta, la relación entre el ritmo de aporte de agua a la superficie del suelo y el de infiltración determina qué proporción de agua entra en el suelo y cuál queda en superficie disponible para la escorrentía superficial. De este modo el ámbito de aplicación del estudio de los procesos de infiltración y escorrentía es muy variado, desde investigación básica y aplicada, hasta aplicaciones en numerosas disciplinas que afectan a numerosos sectores profesionales: ingeniería del agua, agricultura y silvicultura, química y toxicología, geografía y geología, transportes, estudios geotécnicos y mineros, estudios ambientales, gestión y evaluación de recursos hídricos, etc.

Las ecuaciones para el cálculo de los procesos de infiltración resultan de plantear las ecuaciones de balance de las variables conservativas en un volumen de control y fijando las condiciones iniciales y de contorno del problema. Surgen así 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. Sin embargo, el amplio ámbito de aplicación del estudio de los procesos de infiltración y escorrentía superficial hace que sea necesario abordar su estudio de una forma lo más realista posible.

El flujo de agua en un suelo puede describirse mediante la ecuación de Richards, combinación de la ecuación de Darcy y la ecuación de continuidad. Su solución requiere la aplicación de métodos numéricos, costosos en cuanto a tiempo de resolución y necesidad de datos de partida, que presentan problemas de inestabilidad y errores de convergencia si no se aplican de forma adecuada. Así por razones prácticas, a escalas más amplias, entre los métodos más usados para el cálculo de la infiltración se encuentran la ecuación de Green y Ampt, la ecuación de Horton, la ecuación de Philip, o el método del Número de Curva del Servicio de Conservación de Suelos de EEUU. En todos ellos intervienen parámetros del suelo que pueden ser medidos o estimados a partir de otros parámetros fácilmente medibles. La comprensión del significado físico de estos parámetros y la importancia relativa de cada uno de ellos en el resultado final, es fundamental a la hora de realizar un cálculo de infiltración por cualquiera de estos métodos.

El ensayo de procesos de infiltración y escorrentía resulta complejo de realizar tanto en laboratorio como en campo, al depender de la ocurrencia natural o forzada de los mismos y dada la gran diversidad de

suelos y tipos eventos de lluvia con influencia en los procesos analizados. Además, el estudio se complica en función de la escala espacial del estudio dada la amplitud de escalas que se pueden encontrar (desde columnas de suelo en laboratorio hasta grandes cuencas hidrográficas). Igualmente, la solución teórica de las ecuaciones de infiltración en clase es un proceso difícil. Con métodos tradicionales, los estudiantes están limitados a analizar una cantidad muy reducida de casos por la complejidad de la solución de las ecuaciones. Esto dificulta la comprensión de la importancia de las distintas variables dentro de la ecuación, como son la intensidad de la lluvia o los parámetros del suelo.

En este contexto, se plantea el uso de las TIC en el proceso de enseñanza-aprendizaje de los procesos de infiltración y escorrentía superficial, que posibilitan tanto al alumno como al profesor, superar los límites de tiempo y espacio que presenta la modalidad didáctica tradicional. 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.

Se propone así el desarrollo de una herramienta interactiva y visual en el desarrollo y perfeccionamiento de habilidades para el estudio de los procesos de infiltración y escorrentía superficial en asignaturas de Hidrología de modo que los alumnos clarifiquen los conceptos teóricos y visualicen procesos que en la práctica la única forma de visualizarlo sería en laboratorio o en campo siempre bajo condiciones muy controladas. Con ello, el alumno adquiere las siguientes competencias necesarias en el estudio de procesos de infiltración en la interfaz suelo-agua:

- Planteamiento de problemas de intercambio de agua, sustancias y energía en dicha interfaz.
- Identificar y modelar los principales procesos dominantes y sus agentes forzadores a diferentes escalas.
- Modelar dichos procesos en la interfaz suelo-agua-plantas, incluyendo el diseño experimental necesario para cuantificar y/o medir sus parámetros descriptores.

Dicha herramienta servirá para la resolución de diferentes casos de estudio en función del nivel de detalle requerido, espacial y temporal y se podrá 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 la práctica.
- 2.- Capacidad de análisis y síntesis mediante la gestión de la información obtenida.
- 3.- Resolución de problemas mediante la resolución de casos de estudio.
- 4.- Toma de decisiones mediante el manejo de información a través de la herramienta informática en cuanto al método a aplicar, parámetros con influencia en los procesos dominantes, etc.

En definitiva, el uso de la interfaz gráfica permitirá a los alumnos disponer de un laboratorio virtual para una mejor comprensión de la interacción del agua y el suelo, y ser capaces de aplicar dicho conocimiento para calcular los aspectos necesarios para cuantificar los flujos de infiltración y escorrentía. La herramienta acerca al alumnado al ámbito científico y permite recrear experimentos reales de campo ejecutados por los profesores. Una típica práctica virtual se compondría de un vídeo de un experimento real con simulador de lluvia. Así, los alumnos pueden reproducir los resultados de dicho experimento dentro del entorno del laboratorio virtual.

La herramienta se desarrolla en dos versiones, español e inglés, para su uso en asignaturas impartidas dentro del programa de plurilingüismo y completa la herramienta desarrollada en un proyecto de innovación educativa anterior (115025, curso 2011-2012) sobre transporte de sustancias en aguas superficiales (Aguilar et al., 2012).

## **2. Objetivos** (concretar qué se pretendió con la experiencia).

El objetivo principal es desarrollar una herramienta informática interactiva, visual y bilingüe para el estudio por parte del alumnado de procesos de infiltración y escorrentía superficial.

## **3. Descripción de la experiencia** (exponer con suficiente detalle qué se ha 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. Se incluyeron los métodos más utilizados en la práctica que son la ecuación de Horton, la ecuación de Philip, el método del Número de Curva del Servicio de Conservación de Suelos y finalmente la ecuación de Green y Ampt.

Una vez identificados los métodos a incluir en la herramienta y derivadas las soluciones completas de las ecuaciones, se programaron en Matlab generándose así las soluciones instantáneas e integradas temporalmente para el período de estudio. En paralelo los profesores elaboraron una ficha explicativa de cada método a la cual pueden en cualquier momento acceder los alumnos en caso de duda. Dichas fichas se han redactado en español y en inglés e incluyen la base teórica del método, los parámetros necesarios en cada caso con la explicación del significado de cada uno de ellos, restricciones de aplicación, etc.

En el caso de la ecuación de Green y Ampt, puesto que se trata de una ecuación implícita y que por tanto requiere de algún método numérico para su resolución, se ha programado para que los alumnos la realicen de forma progresiva mediante aproximaciones sucesivas a partir de un valor inicial introducido por ellos mismos.

### **Actividad 2**

Una vez programadas las ecuaciones implicadas, se tradujeron en una interfaz gráfica sencilla en la cual es posible analizar y visualizar los diferentes métodos a través de un sistema de pestañas y ventanas. La interfaz muestra en primer lugar los distintos métodos de forma progresiva en base al nivel de sencillez de aplicación:

1. Ecuación de Horton.
2. Ecuación de Philip.
3. Método del Número de Curva del Servicio de Conservación de Suelos.
4. Ecuación de Green y Ampt.

Una vez seleccionado el método, el usuario fija las condiciones iniciales y de contorno del problema y los parámetros que dependen del método aplicado (e.g. Constante de decaimiento, conductividad hidráulica saturada, potencial matricial, contenido de humedad en saturación, número de curva, etc.). La herramienta permite calcular de este modo la infiltración y escorrentía superficial ante un evento de lluvia introducido por el usuario y modificar en tiempo real los parámetros que influyen en las ecuaciones para analizar el grado de sensibilidad a los mismos.

En todas las ventanas se incluyó un menú de ayuda que muestra la ficha previamente desarrollada por los profesores así como un apartado de preguntas frecuentes. De esta manera se potencia en cierta medida el aprendizaje activo y autónomo del alumno.

Los resultados de infiltración y escorrentía se muestran en gráficas y se almacenan en tablas tanto de las variables instantáneas como acumuladas al final del evento. Se incluye la opción de generar un video que muestre la evolución temporal de las variables a lo largo del evento de lluvia. De esta forma el alumno puede observar las diferencias a la hora de modelar distintos eventos de lluvia bajo las mismas condiciones de partida y en el mismo suelo, modelar el mismo evento de lluvia bajo distintas condiciones iniciales o comparar los resultados obtenidos por los distintos métodos para un mismo evento de lluvia y suelo.

### **Actividad 3**

Finalmente se elaboraron una serie de vídeos explicativos. Cada vídeo sirve para introducir y explicar una base de datos, correspondiente con unos datos de entrada que pueden usar los alumnos en el laboratorio virtual. Se contemplan 3 tipos de datos de entrada: 1) infiltración en campo medida con infiltrómetros de disco (Figura 1B), 2) infiltración medida con anillos de infiltración; 3) infiltración determinada con un experimento de lluvia simulada (Figura 1A) y por último 4) lluvia natural.

Para el último ejemplo 4, de lluvia natural, el video explica un caso de estudio conocido e fácilmente identificable por los alumnos, como por ejemplo las inundaciones en la provincia de Córdoba en 2010 (Figura 2).

#### **4. Materiales y métodos** (describir el material utilizado y la metodología seguida).

La metodología seguida se detalla a continuación para cada actividad.

### **Actividad 1**

Una vez identificados los métodos a incluir en la herramienta y derivadas las soluciones completas de las ecuaciones, se programaron en Matlab 2012a generándose así las soluciones instantáneas e integradas temporalmente para la duración del evento de lluvia-escorrentía.

### **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 métodos de cálculo de infiltración.

Cada método se programó de forma independiente. Por lo general se detallan en primer lugar las características del evento de lluvia, y a continuación las propiedades del suelo que intervienen en cada método y las condiciones iniciales de humedad del suelo. 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**

El video explicativo se ha grabado con una cámara de foto/video y ha sido editado con los programas Pinnacle 12 y Nero Vision.

**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 relacionadas con los procesos de infiltración y escorrentía. Por otro, se han elaborado una serie de vídeos explicativos.

En cuanto a la herramienta, se trata de un archivo ".exe" que al ejecutarlo actúa como una especie de calculadora para la resolución de un evento de lluvia-escorrentía mediante un método concreto una vez los alumnos han discutido, contrastado y llegado a un consenso sobre el tipo de metodología a aplicar. La figura 1 muestra la primera pantalla de la herramienta en ambas versiones, español e inglés. A continuación, una inician la herramienta, los alumnos tienen que seleccionar el método a utilizar para el cálculo de la infiltración (figura 2).



Fig. 1. Pantalla de inicio de la herramienta en español (izquierda) e inglés (derecha)

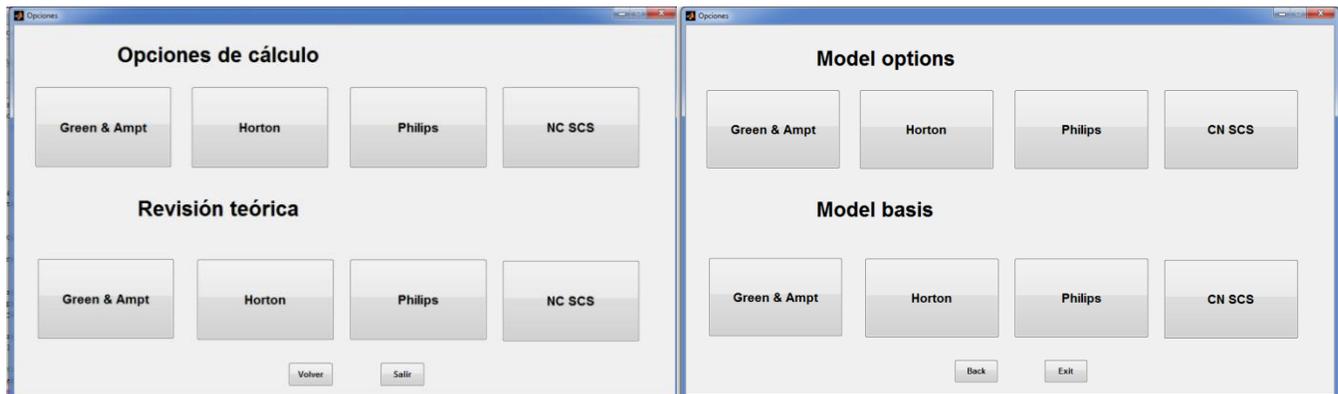


Fig 2. Selección del método de cálculo en español (izquierda) e inglés (derecha)

A continuación en función del método, el usuario debe introducir las características del evento de lluvia, (incrementos de tiempo e intensidad de lluvia en los mismos), las propiedades del suelo y las condiciones de humedad iniciales.

En el caso del cálculo mediante la ecuación de Green y Ampt, se ha diferenciado entre el caso de un evento de lluvia de intensidad constante o variable (figura 3). En el caso de seleccionar el evento de lluvia constante, los alumnos realizan el cálculo en un proceso iterativo. De este modo, se modifica el valor de la infiltración acumulada paso a paso hasta que coincidan ambos lados de la ecuación ( $c_1$  y  $c_2$ ), momento en el cual se selecciona el botón guardar para salvar los valores introducidos (figura 4).

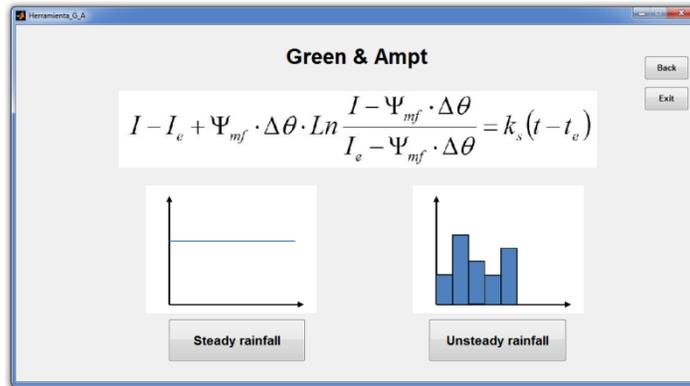


Fig 3. Interfaz de cálculo mediante Green y Ampt

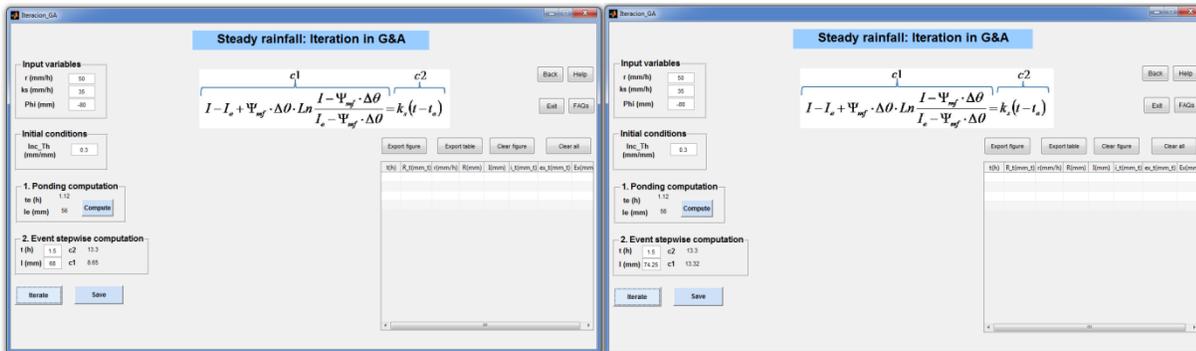


Fig 4. Ejemplo de cálculo iterativo en Green y Ampt

Al realizar el cálculo por cualquier método se visualiza gráficamente en la misma ventana (figura 5), siendo además posible repetir el cálculo solapando las gráficas para ver la variación al modificar un parámetro (ej. Conductividad hidráulica saturada, Número de Curva, diferentes condiciones de humedad inicial, etc.). Además, es posible exportar la figura (figura 6) y los resultados de la tabla en un fichero de texto denominado resultados.txt para que el usuario pueda tratar numéricamente el cálculo realizado con alguna hoja de cálculo o lenguaje de programación.

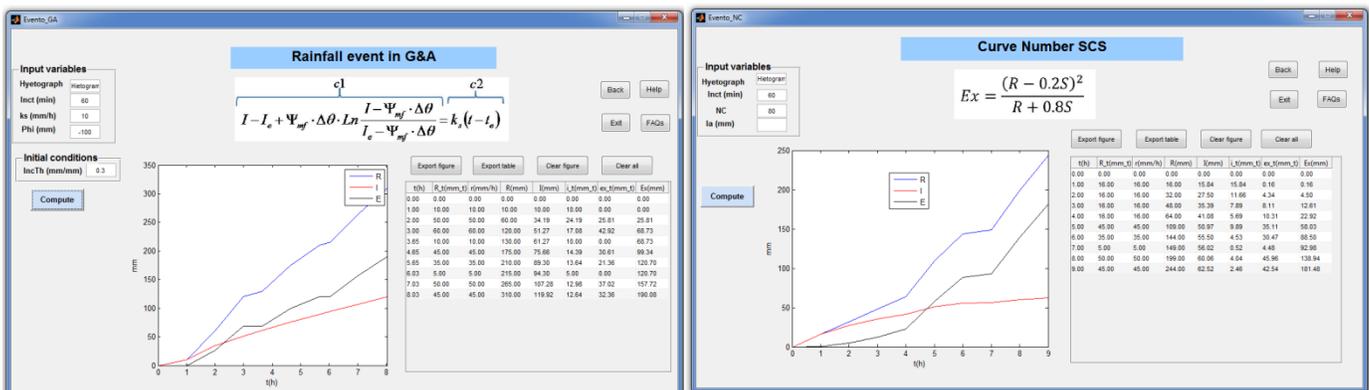


Fig 5. Ejemplos de cálculo por Green y Ampt (izquierda) y por el Número de Curva (derecha)

El material elaborado en este proyecto se presenta como un ejecutable en cada idioma. Ambos estarán disponibles en la página web del grupo de Dinámica Fluvial e Hidrología (<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 de infiltración.

**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 procesos de infiltración y escorrentía mediante diferentes metodologías de cálculo en función de la información disponible en cada caso. Además, 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 e hipótesis de partida:

- Suelo completamente encharcado al inicio del evento de lluvia.
- Modificación de las propiedades del suelo tras un cambio significativo en la zona (cambio de usos del suelo, incendios, procesos de compactación, etc.).
- Comparar los resultados obtenidos ante un mismo evento de lluvia mediante las distintas metodologías.
- Comparar los resultados obtenidos para un mismo volumen de lluvia pero distas duraciones del evento.
- 

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

En las prácticas de asignaturas como Procesos en la interfaz suelo-agua-plantas, Gestión integral de cuencas y Operación de ríos y embalses y calidad de aguas, todas ellas 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. 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 infiltración y escorrentía.

La herramienta acaba de ser desarrollada, sin embargo hasta noviembre de 2014 no estará accesible desde la web. A partir de ese momento se utilizará en el aula en las asignaturas arriba mencionadas y se evaluará su utilidad mediante encuestas al alumnado.

El planteamiento de la misma así como una primera versión del ejecutable fue presentado como comunicación oral en la sesión *Web-based Simulation and Training Environments* de la 11<sup>th</sup> International Conference on Hydroinformatics (Vanwalleghem et al., 2014) celebrada en agosto de 2014 en Nueva York. Una vez se disponga de evaluaciones externas a la herramienta por parte de alumnos de Grado y Postgrado se planteará el análisis de las mismas y su publicación en una revista específica en el área como *European Journal of Engineering Education* o bien su presentación en próximas ediciones de la EGU.

**8. 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 30/10/2014).

Vanwalleghem, T., Aguilar, C., Carpintero, M., Espejo, A., Giráldez, J.V., Polo, M.J. 2014. A virtual lab environment for improving students' understanding of infiltration and runoff processes. 11th International Conference on Hydroinformatics HIC 2014, New York City, USA.

<file:///C:/Users/Usuario/Downloads/HIC2014-1499.pdf> (accedido 30/10/2014).

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

Córdoba, 30 de septiembre de 2014

**Sr Vicerrector de Estudios de Postgrado y Formación Continua**