



UNIVERSIDAD
COMPLUTENSE
MADRID

Proyecto de Innovación

Convocatoria 2023/2024

Nº de proyecto: 152

Análisis y Modelización Topográficos, Hidrológicos, e Hidrodinámicos aplicados a la Geomorfología Ambiental y el Análisis de Riesgo por inundaciones. Adquisición de competencias mediante la resolución de ejercicios prácticos.

Responsable del proyecto: Julio Garrote Revilla

Facultad de Geología

Departamento de Geodinámica, Estratigrafía y Paleontología

ÍNDICE DE CONTENIDOS

1. Objetivos propuestos en la presentación del proyecto
2. Objetivos alcanzados
3. Metodología empleada en el proyecto
4. Recursos humanos
5. Desarrollo de las actividades
6. Anexos

1. Objetivos propuestos en la presentación del proyecto

Este proyecto de innovación docente (Proyecto INNOVA-Docencia 2023/24 - Nº 152) tiene un par de objetivos específicos: a) enseñanza mediante ejemplos prácticos reales de las bases metodológicas y conceptuales de la modelización hidrológica-hidrodinámica y análisis complementarios a partir del desarrollo de un manual práctico en el que, mediante la propuesta de diferentes casos de estudio, se defina el flujo de trabajo habitual en esos ámbitos del conocimiento; y b) la mejora de la capacitación profesional de los estudiantes en una de las potenciales salidas profesionales de los egresados de la Facultad de Geología.

a) Con el primero de los objetivos, hemos de tener en cuenta que los análisis hidrológico-hidráulicos (o hidrológico-hidrodinámicos) incluyen la obtención, generación, e implementación en dichos modelos de toda una serie de variables (lluvia, caudales líquidos, estimación de valores extremos mediante modelos estadísticos y su relación con el concepto de probabilidad o de periodo de retorno, topografía-MDEs, umbrales de escorrentía superficial, granulometría de sedimentos, ...) de entrada que en muchos casos no se encuentran disponibles de forma directa, o bien su adecuación a los requisitos de las aplicaciones informáticas utilizadas requiere de toda una serie de labores de procesamiento previo. Todos estos análisis previos, así como la enseñanza de la propia modelización hidrológico-hidrodinámica, y su posterior utilización para el análisis de peligrosidad por eventos de inundación, requieren de un grado de especificidad y tiempo de aprendizaje que no siempre está disponible dentro de los complejos y completos planes de estudio de Grados y Masters. Es por ello que el desarrollo de este manual práctico pretende ser una base para la optimización de la enseñanza de estas materias dentro del temario más amplio de asignaturas más generalistas; así como servir de plataforma para la ampliación de conocimientos de todos aquellos estudiantes que, sintiéndose atraídos por esta materia, acaban encontrado insuficiente el tiempo dedicado a la docencia de las mismas. Es por ello que el enfoque de este manual, basado en ejercicios o casos de estudio práctico reales, es tanto de guía o manual docente, como de plataforma de extensión docente con la que el alumno puede profundizar en el conocimiento de la materia, así como experimentar el efecto sobre los resultados de la modificación de alguna de las variables iniciales, lo que permite la mejora de la comprensión del efecto de dichas variables sobre los resultados finales.

b) El segundo de los objetivos, la aptitud de los egresados en las tareas de modelización hidrológico-hidrodinámica, se ha mostrado como uno de los requisitos habituales que, desde el ámbito de la Consultoría Ambiental, se requiere de los futuros profesionales ligados a análisis ambientales, análisis de riesgos, o la geodinámica fluvial. Así, planes y desarrollos urbanísticos, trabajos de restauración fluvial y de ladera, de gestión de recursos hídricos, de diseño de medidas de mitigación del riesgo por inundaciones,... Y no podemos dejar de

mencionar, el Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables (SNCZI) promovido por el MITECO; todas ellas tareas que requieren de trabajadores cualificados en la modelización hidrológico-hidrodinámica. Todas ellas son áreas profesionales en las que un conocimiento de todas las tareas y flujos de trabajo habituales en la modelización hidrológico-hidrodinámica resulta imprescindible, y en la que los alumnos de los Grados y Master impartidos actualmente en la Facultad de Geología podrían mejorar su capacitación a partir de los casos de estudio propuestos y resueltos en el manual docente que debe derivarse de este proyecto de Innovación Docente. El cual, además, debería dar respuesta a la habitual demanda de los estudiantes de una docencia más práctica y enfocada hacia los requerimientos del mercado laboral.

Para lograr este objetivo se plantea la construcción de una página web específica del proyecto INNOVA, <https://www.ucm.es/geomorfologia-riesgos/>, en la que quedarán recogidos y disponibles al público los ejercicios prácticos desarrollados para este proyecto. Además, se plantea potenciar la difusión de resultados a través de la utilización de los perfiles de redes sociales (canal de YouTube, Instagram, Twitter, etc...) creados previamente para difundir los resultados de anteriores proyectos de Innovación Docente desarrollados por el núcleo de profesores del presente proyecto.

Los objetivos planteados se desarrollan a partir de una idea central, que es que la enseñanza y aprendizaje de la geomorfología fluvial y su hidrodinámica, mediante la resolución de ejercicios prácticos. Sin duda, la resolución de estos ejercicios prácticos requiere de la asimilación de conceptos teóricos en los que se basan los análisis llevados a cabo en los ejercicios propuestos. En ocasiones, y aunque el alumno llega a comprender estos conceptos teóricos, es difícil para el docente abordar la aplicación real o práctica de dicha teoría. Sin embargo, con esta docencia basada en ejercicios prácticos, el docente podrá por un lado exponer los conceptos teóricos, y por otro mostrar el efecto real de los mismos (o de su variación o modificación) sobre casos reales. Esto debe permitir una aproximación teórico-práctica a la asimilación de conceptos por parte de los alumnos.

2. Objetivos alcanzados

Objetivo A: enseñanza mediante ejemplos prácticos reales de las bases metodológicas y conceptuales de la modelización hidrológica-hidrodinámica.

A lo largo del presente proyecto, se ha procedido al desarrollo de un total de 5 ejercicios prácticos que cubren la práctica totalidad de las tareas necesarias para la evaluación de la evolución geomorfológica e hidrodinámica de los cauces fluviales. Las temáticas de estos ejercicios, planteadas ya en la propuesta de solicitud de proyecto presenta y sobre las que se volverá en el apartado 5 de este informe final, abarcan tanto aspectos básicos y transversales a distintos ejercicios como es la generación de modelos digitales del terreno (DEMs) de alta resolución espacial; como otros aspectos más específicos y que utilizando como una de sus fuentes básicas de información esos DEMs, se centran en aspectos más específicos de la geodinámica fluvial y las inundaciones.

Así, el Ejercicio 1 aborda los procesos metodológicos para la generación de DEMs de alta resolución espacial, tanto desde la perspectiva de uso de la información LiDAR disponible a través del IGN (Instituto Geográfico Nacional; [Centro de Descargas del CNIG \(IGN\)](#)), como desde la utilización de fotogramas para la generación de DEMs a partir de técnicas de fotogrametría digital.

En el resto de los ejercicios, y siempre sobre la base de unos DEMs de alta resolución espacial, se abordan tareas de cartografía geomorfológica (semejante a la planteada en el Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables – SNCZI) aplicada al estudio de la peligrosidad por inundaciones fluviales (Ejercicio 2). En los ejercicios 3 y 4 se plantean ejemplos de modelización hidrológica (centrada en el proceso de transformación lluvia – escorrentía superficial) e hidráulica (tránsito por un tramo de cauce fluvial de volúmenes de agua distribuidos en el tiempo). Para finalmente en el ejercicio 5 ir un paso más allá y adentrarnos en la estimación del transporte de sedimento asociado al tránsito de esos volúmenes de agua, y la incertidumbre existente en la estimación de dicho transporte de sedimento en función de la formulación elegida entre las disponibles.

Todos estos ejemplos se encuentran disponibles a través de la web generada para dar cabida a los resultados de este proyecto, disponiendo los potenciales usuarios tanto de un guion detallado para el seguimiento y resolución del ejercicio, como de todos los datos requeridos para la correcta resolución de los distintos ejercicios.

Objetivo B: mejora de la capacitación profesional de los estudiantes.

No es sencillo saber, en este momento de finalización del proyecto, si se han alcanzado correctamente los objetivos de mejora de capacitación de los estudiantes que nos proponíamos con la presente propuesta de proyecto de Innovación Docente. Es posible que

sea pronto para sacar unas conclusiones definitivas, y probablemente la aplicación de esta propuesta docente durante varios años si nos permita emitir un juicio con mayor rigor.

Aun así, en base a las experiencias previas y personales del equipo de docentes que conforma el núcleo de la presente propuesta, la docencia sobre ejercicios prácticos suele obtener una mejor respuesta por parte del alumnado, la cual se refleja tanto en un incremento de la atención y dedicación por parte de los alumnos, como en una mejora en las evaluaciones docentes del profesorado.

La resolución de ejercicios prácticos, y más si en los mismo se ve implicada la utilización de diferentes herramientas informáticas, genera sobre el alumnado una sensación de aplicabilidad de los conocimientos que en ese momento están siendo transmitidos por parte del docente. Lo cual incrementa el interés de los alumnos por la materia. Sin embargo, es esta un arma de doble filo, puesto que de nada sirve conocer la dinámica de funcionamiento de las herramientas informáticas, sin haber interiorizado los conceptos teóricos sobre los que se fundamenta dicha herramienta o software.

Sin embargo, y aunque lo indicado en el párrafo anterior es totalmente cierto, no lo es menos la sensación de “saber hacer cosas” que los alumnos adquieren (independientemente de su nivel educativo: Grado o Máster) cuando se ven obligados al uso de diferentes herramientas informáticas.

Por tanto, y aunque no se dispone aún del tiempo suficiente de aplicación de la presente metodología didáctica basada en la resolución de ejercicios prácticos, no cabe duda entre el profesorado implicado en el proyecto sobre dos aspectos: en primer lugar, la aplicabilidad de esta metodología a los estudios de geodinámica fluvial, y en segundo lugar la mejora en la acogida de dichos estudios (y asignaturas asociadas en los planes de estudios) por parte del alumnado.

3. Metodología empleada en el proyecto

Tal y como ya se ha mencionado con anterioridad, el presente proyecto puede desglosarse en un conjunto de 5 ejercicios prácticos (con un primer ejercicio de introducción a la producción de DEMs que se podría considerar como dos ejercicios en uno) que cubren buena parte del amplio abanico de actividades y temáticas ligadas a la geodinámica fluvial e inundaciones.

Cada uno de estos ejercicios supone una actividad completa y cerrada desde el punto de vista de que cubre todo el espectro de: datos de entrada o iniciales – metodología de trabajo – generación, exploración e interpretación de resultados.

Además, tal y como están planteados cada uno de los ejercicios, su desarrollo permite la interrupción de la implementación de los ejercicios para la correcta explicación de los conceptos teóricos que se sitúan por debajo de la metodología aplicada.

Por otro lado, y desde un punto de vista práctico o aplicado, los ejercicios propuestos parten de un detallado guion que permitiría su resolución directa por parte de los alumnos. Esta característica es importante pues permite al profesorado decidir entre una exposición de conceptos teóricos previa a la implementación y resolución de los ejercicios; o bien un desarrollo sincrónico entre la explicación de conceptos teóricos y su implementación práctica en los ejercicios propuestos. O incluso una combinación de dichos enfoques.

En cada uno de los guiones generados para la realización de los ejercicios prácticos asociados, se ha optado por una propuesta de guion eminentemente práctico en el que sea fácil seguir el desarrollo del problema planteado, con instrucciones claras, y un apoyo gráfico a partir de imágenes que representan capturas de pantalla en las que se indica como debe quedar implementado ese paso metodológico concreto, o el orden en el que deben introducirse los datos necesarios asociados a dicho paso metodológico.

Es esta, en opinión del equipo docente del proyecto, una propuesta de guion ágil, que no dispersa al alumno con amplios párrafos en los que se explique la dinámica de implementación de datos. Y que por otro lado permite también al alumnado comparar los resultados y pasos intermedios que se van realizando respecto a las imágenes que se integran en el guion y que muestran como debería ir quedando implementados los ejercicios.

4. Recursos humanos

El grupo de profesores que integra el equipo humano del proyecto tiene una amplia experiencia docente e investigadora, abarcando en su docencia múltiples asignaturas (Grado y Máster) en las que los objetivos alcanzados en el presente proyecto pueden ser de utilidad para la mejora docente:

Asignaturas en las que se va a aplicar el proyecto:

- Geodinámica Externa (Obligatoria) - 2º Grado en Geología
- Geomorfología (Obligatoria) - 3º Grado en Geología; y 2º Grado en Ing. Geológica
- Geología Ambiental y Ordenación del Territorio (Optativa) - 4º Grado en Geología
- SIG y Teledetección – 4º Grado en Geología
- Geología aplicada a la Biología (Obligatoria) - 1º Grado en Biología
- Riesgo Fluvial, Costero y de Laderas (Obligatoria) - Máster en Geología Ambiental
- Edafología Aplicada y Conservación de Suelos (Obligatoria) - Máster en Geología Ambiental

Además, el proyecto implicaba también a alumnos del Grado en Geología y el Master en Geología Ambiental. La labor principal de los alumnos que han participado activamente en el proyecto ha sido la ayuda al desarrollo y mejora de los ejercicios propuestos, retroalimentado al profesorado con el objetivo de desarrollar un guion que fuese lo más accesible posible para el alumnado, con las miras puestas en que en un momento dado los alumnos pudiesen desarrollar estos ejercicios prácticos propuestos de manera autónoma e independiente.

También, desde el grupo de profesores que conforman el equipo de trabajo, se ha procedido a la creación del espacio web () en el que se van a centralizar el acceso y descarga de los datos generados en el proyecto y puesto a disposición de toda la comunidad científica y educativa que los considere interesantes.

5. Desarrollo de actividades

Las actividades desarrolladas en el presente proyecto pueden subdividirse en tantos ejercicios prácticos se han desarrollado, pudiendo considerar por tanto un total de cinco actividades.

5.1. Actividad 1 – Generación DEMs con datos LiDAR o Fotogrametría Digital.

Esta primera actividad se puede considerar transversal en el sentido que los DEMs de alta resolución cuya construcción se plantea en el presente ejercicio son de uso necesario para la mayoría del resto ejercicios propuestos.

En esta actividad se detalla el procedimiento para la generación de DEMs de alta resolución espacial a partir de dos fuentes de datos iniciales independientes. Es por ellos que se podría considerar que este primer ejercicio o actividad realmente representa dos ejercicios o actividades independientes. Así, en primer lugar se describe el procedimiento para generar un DEM de alta resolución a partir de la información (nubes de puntos LiDAR) disponible a través del IGN; y a continuación, se pasa a describir el proceso metodológico necesario para la generación de DEMs de alta resolución espacial a partir de fotogramas digitales.

5.2. Actividad 2 – Cartografía Geomorfológica compatible SNCZI.

En este segundo ejercicio o actividad, se propone llevar a cabo una cartografía geomorfológica fluvial enfocada a la estimación de la peligrosidad por inundaciones. Esta cartografía se realiza de manera compatible con la propuesta incorporada al Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables (SNCZI), de tal manera que se pretende que los alumnos se familiaricen con la misma, al ser una potencial fuente de empleo para los egresados de los grados de Geología, así como del Master en Geología Ambiental.

Así, en base a las evidencias observables a través del uso de DEMs de alta resolución espacial, así como de orto-imágenes aéreas (disponibles a través del IGN), se pretende lograr la cartografía de las porciones del territorio anexas a los cauces fluviales que presentan diferente grado o nivel de actividad fluvial, y que por tanto pueden asociarse a distintos niveles de peligrosidad por inundaciones.

Todo ello a través del uso de un Sistema de Información Geográfica (SIG) para la gestión de la información de entrada, así como para la producción de dicha cartografía geomorfológica fluvial.

5.3. Actividad 3 – Modelización Hidrológica.

En el tercero de los ejercicios nos adentramos en la parte más hidrológico-hidráulica de este proyecto de innovación docente. Asumiendo que las inundaciones en la mayoría de los casos

están asociadas a un déficit en la capacidad de transporte de grandes volúmenes de agua por los cauces, que provocan por tanto el desbordamiento de los mismos, debemos también asumir que en la mayoría de los casos esa agua inicia su camino sobre la superficie terrestre a partir de un evento de precipitación. Teniendo lo anterior en cuenta, en este primer ejercicio nos centramos en el proceso de transformación de la lluvia, a escorrentía superficial; abarcando por tanto desde el evento de precipitación, hasta como la escorrentía superficial se mueve por la superficie del terreno.

Por tanto, partiendo de (entre otros datos iniciales) un DEM de alta resolución espacial y de un hietograma de un evento de precipitación, se introduce al alumno en las técnicas de modelización hidrológico-hidráulica mediante el uso de uno software de tipo bi-dimensional (2D) que considera el movimiento del agua en los 360° del plano X-Y. Este tipo de software es el utilizado habitualmente por ambos el sector privado de consultoría ambiental, y también desde un ámbito más de investigación.

Como resultados, se plantea al alumno la obtención de los valores de salida del modelo para diferentes variables de cálculo como la altura de la lámina de agua generada, la velocidad del agua, la generación de un hidrograma,...

5.4. Actividad 4 – Modelización Hidrodinámica.

En este cuarto ejercicio o actividad se propone un ejemplo complementario al anterior. Si en la actividad 3 se parte de un hietograma, en esta cuarta actividad partimos directamente de un hidrograma (gráfico que relaciona las variables caudal y tiempo) de un evento de avenida. El objetivo de la actividad es estudiar como esa agua ocupa el territorio, las semejanzas y diferencias del hidrograma en la sección de entrada del modelo respecto a su forma en la sección de salida del modelo.

Aunque existen ciertas semejanzas en la implementación de los modelos de las actividades 3 y 4, también existen diferencias sustanciales entre ambas que legitiman su separación formal en dos actividades independientes.

5.5. Actividad 5 – Modelización del Transporte de Sedimento

Por último, en la quinta actividad propuesta en este proyecto se avanza un paso más allá, y se introduce a los alumnos en la estimación de los sedimentos que son transportados por los ríos durante eventos de avenida, así como la incertidumbre asociada a estas estimaciones en función de las ecuaciones de transporte de sedimento utilizadas. Así mismo, se analiza también el efecto que sobre esas tasas de transporte tiene tanto la granulometría del sedimento, como las características del flujo de agua y de la superficie del terreno.

Para lograr estos objetivos, además de los datos iniciales necesarios, la actividad se apoya en una aplicación web existente previamente (“The Bedload web Project” -

<https://en.bedloadweb.com/>) y desarrollada por el investigador Alain Recking, del INRAE-Grenoble (Francia).

5.6. Divulgación de los resultados

El material generado en el presente proyecto, el cual se compone principalmente de los guiones creados para las distintas actividades, así como los datos iniciales necesarios para el desarrollo de dichas actividades, ha sido almacenado en el espacio web, dependiente de la UCM, creado para tal efecto y al que se puede acceder mediante el siguiente enlace:

<https://www.ucm.es/geomorfologia-riesgos/>

Por otro lado, el conjunto del profesorado implicado en el presente proyecto asume el mismo como una actividad continua, de tal forma que aun habiendo acabado el proyecto de Innovación Docente en si mismo, consideramos que los resultados obtenidos son lo suficientemente satisfactorios como para plantear continuar en un futuro incrementando el número y tipología de los ejercicios prácticos propuestos; bien a partir de futuros proyectos INNOVA-UCM, bien a partir de las propias necesidades docentes de este profesorado.

Además, y con el objetivo de incrementar la visibilidad de los resultados obtenidos, se procede a difundir el mismo a través de los perfiles de los que se dispone en distintas redes sociales, derivados de anteriores proyectos de Innovación Docente en las que ha participado este equipo de profesores:

Canal YouTube:

[Geomorfología Ambiental y de Riesgos - YouTube](#)

Perfil Instagram:

[UCM-Geomorfología Ambiental y de Riesgos \(@geomorfologiaambientalyriesgos\) • Fotos y videos de Instagram](#)

Perfil Twiter:

[UCM-Geomorfología Ambiental y de Riesgos \(@UCMgeoambiental\) / Twitter](#)

6. Anexos

En el presente proyecto de Innovación Docente no se ha generado material digno de ser incluido en la sección de Anexos. Se recomienda la visita a la página web del proyecto para la revisión y acceso a todos los datos generados.

<https://www.ucm.es/geomorfologia-riesgos/>

Además, se procede a continuación a recopilar el conjunto de enlaces web mencionados en las actividades propuestas, ordenados por temática.

- Fuentes de Datos Topográficos.
 - Centro de Descargas del CNIG-IGN
<https://centrodedescargas.cnig.es/CentroDescargas/index.jsp#>
 - Open Topography
<https://opentopography.org/>
 - USGS DEM Data
<https://earthexplorer.usgs.gov/>

- Software
 - Sistemas de Información Geográfica (SIG)
 - Esri ArcGIS Pro
<https://www.esri.com/es-es/arcgis/products/arcgis-for-student-use/buy>
 - Qgis
<https://www.qgis.org/>
 - Fotogrametría Digital
 - Agisoft Metashape
<https://www.agisoft.com/>
 - Modelización Hidrodinámica (Hidrológico-Hidráulica)
 - Iber
<https://www.iberaula.es/>

- Cartografía Geomorfológica Fluvial
 - Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables (SNCZI)
 - Visor SNCZI
<https://sig.mapama.gob.es/snczi/index.html?herramienta=DPHZI>
 - Guía Metodológica SNCZI
<https://www.miteco.gob.es/es/agua/temas/gestion-de-los-riesgos-de-inundacion/snczi/guia-metodologica-determinacion-zonas-inundables.html>

- Transporte de Sedimento
 - The Bedload web Project
<https://en.bedloadweb.com/>

- Fuentes de Datos para la Modelización Hidrodinámica
 - Mapa de Caudales Máximos (CauMAX)
<https://www.miteco.gob.es/es/cartografia-y-sig/ide/descargas/agua/mapa-caudales.html>

- Grupo Hidrológico de Suelo (Met. Número Curva)
https://daac.ornl.gov/SOILS/guides/Global_Hydrologic_Soil_Group.html
- Clasificación de Suelos (Met. Número Curva)
<https://www.soilgrids.org/>
- Clases Cobertura del Terreno (Met. Número Curva)
<https://worldcover2021.esa.int/>
- Tablas Valores CN-SCS (Met. Número Curva)
<https://www.hec.usace.army.mil/confluence/hmsdocs/hmstrm/cn-tables>
- Datos de Aforos - Caudales
<https://ceh.cedex.es/anuarioaforos/default.asp>
- Datos de Lluvia
 - AEMET
<https://opendata.aemet.es/centrodedescargas/inicio>
 - European Climate Assessment & Dataset project
<https://www.ecad.eu/>