

Reflexiones sobre la idoneidad de la cartografía LIDAR en Estudios de Inundabilidad.

Estela García Botella^{a*}, Antonio Prieto Cerdán^b

^aTécnico en Cartografía, Cota Ambiental S.L.P.

^bDirector Técnico, Cota Ambiental S.L.P.

Resumen

Esta comunicación es una reflexión sobre cuales son las condiciones que debe cumplir la cartografía para la realización de Estudios de Inundabilidad, para concluir con las ventajas comparativas que ha supuesto la utilización de la cartografía LIDAR en la modelización hidráulica, insistiendo en la premisa de la exactitud en la representación cartográfica donde nos aseguramos la representación más exacta posible de las diferentes realidades para conseguir resultados más verosímiles del riesgo de inundación.

Palabras clave: LIDAR; Modelo Digital del Terreno; riesgo de inundación; modelización hidráulica; Estudios Inundabilidad: Comunidad Valenciana.

1. Introducción

Los estudios de inundabilidad se han enriquecido con el aporte de nuevas tecnologías, evolucionando de forma diferente a lo que ha sucedido con otras disciplinas (Olaya, V. 2004), tanto en los análisis hidrológicos como en los estudios de crecidas para el cálculo de superficies de territorio afectadas por riesgos de inundación, Sin embargo, esto no ha conllevado cambios significativos en sus principios básicos, ni en la

* E-mail: estela.garcia@cotambiental.es

metodología utilizada que se mantiene inalterable desde sus inicios, con una eficiencia contrastada, obligada observancia en los Estudios de Inundabilidad realizados en la Comunidad Valenciana.

Así, el objetivo de esta comunicación es hacer un análisis de cuales son las condiciones que deben cumplir la cartografía para la realización de Estudios de Inundabilidad, para concluir exponiendo ~~en~~ las ventajas comparativas que ha supuesto la utilización de la cartografía LIDAR en la modelización hidráulica a la hora de la delimitación de las superficies de riesgo de inundación para los diferentes periodos de retorno, evitando realizar una descripción del sistema LIDAR (acrónimo del inglés Light Detection and Ranging o Laser Imaging Detection and Ranking) o de las técnicas utilizadas para obtener un Modelo Digital del Terreno (MDT), objeto de otros trabajos y artículos.

Por este motivo, esta comunicación se acerca a las diferentes fuentes para la obtención de un MDT: desde las utilizadas tradicionalmente, como los levantamientos topográficos, que complicaban en exceso este proceso de representación de la realidad, frente la utilización de la tecnología LIDAR, para concluir cual se ajusta mejor a la representación de la realidad, dando resultados más exactos, facilitando así una herramienta correcta para la óptima ordenación del territorio afectado por riesgos de inundación

Los Estudios de Inundabilidad en la Comunitat Valenciana están regulados por Plan de Acción Territorial de Carácter sectorial sobre Prevención de Riesgo de inundación de la Comunidad Valenciana (PATRICOVA), aprobado por la Generalitat Valenciana a través del Acuerdo del Cosell de 28 de enero de 2003, en cuya propia normativa se indica que es necesario concretar la cartografía inicial del mismo,

“...al tratarse de un estudio regional realizado en origen a escala 1:50.000, es susceptible de ser concretado, ampliado, e incluso modificado mediante Estudios de Inundabilidad más precisos que, en todo caso, se realizarán de acuerdo con lo establecido en su Normativa. La aprobación del Estudio de Inundabilidad, mediante Resolución de la Dirección General con competencias sobre el PATRICOVA, supone en última instancia la modificación de la cartografía de riesgos de inundación del PATRICOVA”.

De esta forma, por esta disposición normativa, una vez informado favorablemente y aprobado por el servicio correspondiente de la conselleria competente en materia de territorio de la Generalitat Valenciana, el Estudio de Inundabilidad se convierte, junto con sus resultados, en la cartografía de riesgo para esa zona objeto de estudio, sustituyendo las determinaciones del propio PATRICOVA.

En este sentido, hay que añadir que los organismos de cuenca presentes en el territorio valenciano, es decir, tanto la Confederación Hidrográfica del Júcar como la Confederación Hidrográfica del Segura, han elaborado sus correspondientes cartografías de riesgo de inundación adaptadas a lo dispuesto en la *Directiva 2000/60/CE, del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de octubre de 2000, por la que se establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas*, que fue transpuesta al ordenamiento jurídico español a través del *Real Decreto Legislativo 1/2001, de 20 de julio, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Aguas*, y el *Real Decreto 903/2010, de 9 de julio, de evaluación y gestión de riesgos de inundación*, que determina la confección de mapas de peligrosidad y de riesgo de inundación, con la información suministrada por el Sistema Nacional de Zonas Inundables. Los contenidos de los planes de prevención de riesgo de inundación vienen establecidos en el Anexo del citado *Real Decreto 903/2010*.

2. Metodología de los Estudios de inundabilidad

A la hora de hacer estudios sobre el riesgo de inundación, la metodología queda fuertemente determinada por la aplicación informática que se utiliza para la modelización hidrológica que, en este caso, se trata de la denominada HEC-RAS (River Analysis System), desarrollada por el Hydrologic Engineering Center, del Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos de América (U.S. Army Corps of Engineers).

Durante el desarrollo metodológico de los diferentes estudios de inundabilidad realizados en la consultora Cota Ambiental S.L.P., se ha hecho evidente que, cuanto más precisa sea la representación de la realidad, más acertado será el resultado de la modelización hidráulica. Esta ha sido siempre la premisa fundamental a la hora de afrontar la planificación del propio estudio de inundabilidad que, de entrada, podría parecer algo bastante evidente pero que llevarlo a cabo no ha sido nada fácil hasta hace relativamente poco tiempo, es decir, hasta la aparición de la cartografía LIDAR. Así, siguiendo esta premisa fundamental, el proceso de corrección de la cartografía era, con diferencia, al que se le dedicaba la mayor parte del tiempo y esfuerzo del personal asignado al estudio, de todos los pasos que componen este desarrollo metodológico general.

2.1. La cartografía de los Estudios de Inundabilidad

Los primeros estudios de inundabilidad realizados en esta empresa se llevaron a cabo con cartografías obtenidas a partir de diferentes técnicas, que denominaremos como *tradicional* (Gómez, A, 2005); concretamente, levantamientos topográficos para escalas grandes y restituciones fotogramétricas para escalas más pequeñas, es decir, para el estudio hidráulico e hidrológico, respectivamente.

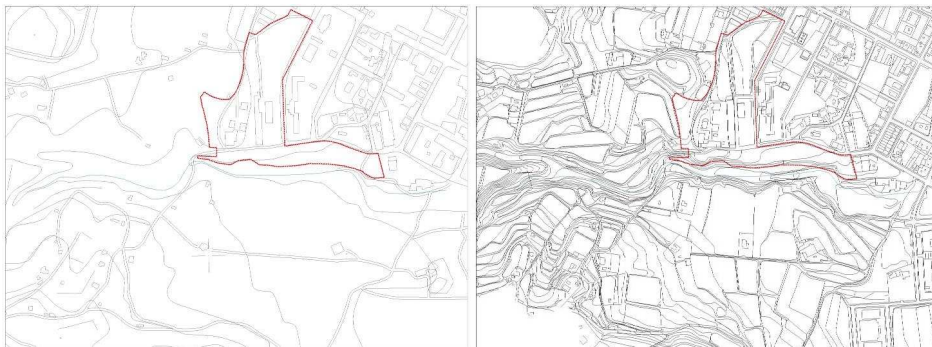


Fig. 1: Cartografía para el análisis hidrológico e hidráulico antes del tratamiento.

En ambas se representaban indiscriminadamente todo lo que había en la superficie terrestre, por lo que dificultaba en exceso la creación de los MDT fiables. Además se hacía preciso un proceso de tratamiento y corrección de la cartografía original tremendamente laborioso, que consistía en un proceso de limpieza de información sobrante donde solo se mantenían los elementos imprescindibles del terreno, para adaptarla a las necesidades de la modelización hidráulica.

Un ejemplo de este proceso de adaptación, corrección o limpieza lo encontramos en el caso de la capa de vegetación, en donde solo se contaba con el valor de cota de las copas de los árboles, sin obtenerse el dato de altura de la superficie terrestre en la base de esa vegetación, por lo que, al proceso de corrección y eliminación de datos erróneos, le seguía un proceso de interpolación para poder hallar los valores exactos de esos puntos donde no se contaban con datos reales. Este inconveniente incrementaba de forma alarmante la dificultad de ese proceso de corrección, especialmente en los casos de cauces altamente ocupados por una espesa vegetación.

Por poner otro ejemplo de esa falta de idoneidad de cartografía obtenida mediante *métodos tradicionales* para la modelización hidráulica, hablaremos de la representación de los caminos, donde se le daba la misma cota altitudinal a toda una línea. La solución a la hora de darle cota a un camino era darle la cota máxima a la línea que representaba un lado del camino y la cota mínima a la línea que representaba el otro lado del camino. Así, aparecían barreras inexistentes en el MDT resultante, como se aprecia en la siguiente imagen.



Fig. 2. Situación previa y posterior al proceso de corrección del MDT.

La experiencia adquirida con todo lo anterior, llegamos a la conclusión de que lo único que podía diferenciar el resultado de un estudio inundabilidad de otro, para una misma zona, era la fuente cartográfica utilizada para su modelización. Por ello, para el cálculo del riesgo de inundación a partir de la modelización hidráulica se hace absolutamente imprescindible el hecho de contar con un MDT de muy alta precisión, puesto que un fallo en la representación cartográfica puede dar al traste con todos los esfuerzos de precisión y exactitud del resultado final para la modelización hidrológica.

2.2. La aportación de la cartografía LIDAR a los Estudios de Inundabilidad

Por todos estos motivos, la utilización de MDTs obtenidos a partir de la técnica LIDAR se ha impuesto con más fuerza desde su aparición (Gómez, A. 2005). A las importantes ventajas comparativas que supone, de una parte, su nivel actualización y, de otra, la oportunidad de poder descender a una escala de trabajo muy detallada, se le suma la posibilidad de obtener diferentes modelizaciones del mismo terreno gracias a la tecnología láser que “*da diferentes datos de cota para un mismo punto según el tiempo de respuesta de los pulsos*” (Gómez, A. 2005).

Por lo tanto, es posible obtener un MDT en el que solamente se tengan los datos de las elevaciones, sin elementos distorsionantes, como la vegetación. Es lo que se conoce como un Modelo Digital de Elevaciones (MDE) o, como se denomina en la *Guía Metodológica para el desarrollo del Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables (SNCZI)*, Modelo Digital de Superficies (MDS) o MDT natural.

Otra ventaja añadida de la utilización de la cartografía LIDAR es que permite la diferencia entre el MDT real... que consiste en un Modelo Digital de Superficies (MDS) en el que se han eliminado los datos de cota de la vegetación, se han corregido las profundidades de cauce, se han eliminado los puentes y se habrán incluido y revisado los elementos antrópicos, que denominan de “larga duración” tales como edificios, motas, terraplenes, etc.

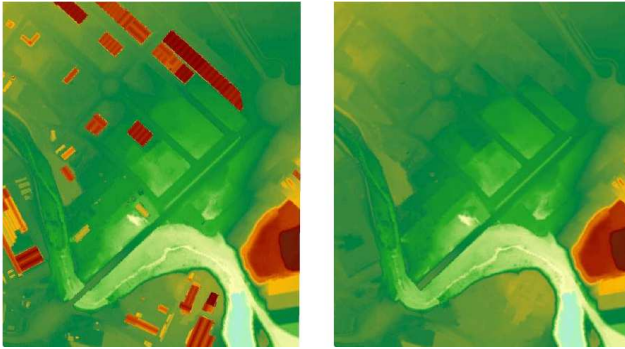


Fig. 3: MDTs obtenidos con cartografía LIDAR, con y sin la estructura de la carretera.

La cartografía LIDAR poco a poco se ha ido estableciendo como una opción precisa, rápida y económica en el sector de la topografía/cartografía (Gómez, A. 2005). El hecho de poder utilizar la cartografía LIDAR ha cambiado las limitaciones fundamentales que aparecían en la cartografía *tradicional* y ha aportado el rigor necesario para la representación de esa realidad, lo más exacta posible, contribuyendo a la reducción del tiempo del proceso de adaptación de la información.

2.3. Integración de los datos en HEC RAS.

Según esta Guía Metodológica, entre las alteraciones hechas en la llanura de inundación o *flowpath* se pueden distinguir las que son “*susceptibles de ser modificadas e incluso ser eliminadas en el futuro*”. El MDT actual se debe rectificar de tal forma que se corrijan las cotas del terreno que se correspondan a aquellos elementos antrópicos que se consideren susceptibles de sufrir modificaciones o incluso de ser eliminados en un futuro a corto o medio plazo (Diez, A. 2010) y dejar solo los elementos de “*larga duración*” como motas o edificaciones.

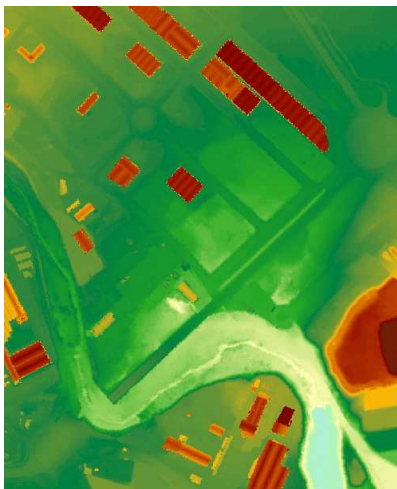


Fig. 4: MDT actual

De esta forma, se consigue que muchos de los datos necesarios para la modelización hidráulica en HEC-RAS, considerados como “capas de RAS propiamente dichas”, como son las motas o infraestructuras transversales al cauce (*levels*), o edificios (*blocked obstruction*), se incluyan dentro de la misma cartografía, es decir, dentro del propio MDT real. Son lo que en la Guía Metodológica de SNCZI se nombran elementos antrópicos de “*larga duración*”, ya mencionados en el apartado anterior. Así, se facilita en gran medida la definición de las capas de RAS propiamente dichas y evita la tan temida inconsistencia de datos que daba errores en el procesamiento de fichero de RAS y que eran de muy difícil detección a simple vista. Por lo que, a la inmediatez de la obtención de la cartografía LIDAR, hay que sumarle la ventaja añadida de reducir también el tiempo de procesamiento de las capas de RAS, con el acicate de asegurar para nuestro trabajo la tan necesaria fiabilidad de los datos.

Una vez se tienen los datos de la geometría del terreno (estudio geomorfológico) y de la cantidad de agua para periodos de retorno críticos (estudio hidrológico) se procede a integrarlos en el programa de modelización hidráulica HEC-RAS, insertando datos geométricos, por un lado, y datos de flujo, caudales, por otro. La combinación de esos dos ficheros darán como resultado lo que, en terminología de HEC-RAS, es denominado como Plan, pudiendo haber tantos planes como ficheros existentes y combinaciones de esos dos tipos de ficheros, donde cabe la posibilidad incluso de crear datos de geometría en el que se incluyan las medida correctoras propuestas, para corroborar su futuro comportamiento en caso de esa supuesta crecida.



Fig. 5: Creación de Planes combinando diferentes ficheros de geometría e hidrología.

A su vez, debemos comprobar, uno a uno, que las secciones transversales representan con exactitud esos terrenos objeto de estudio hidráulico.

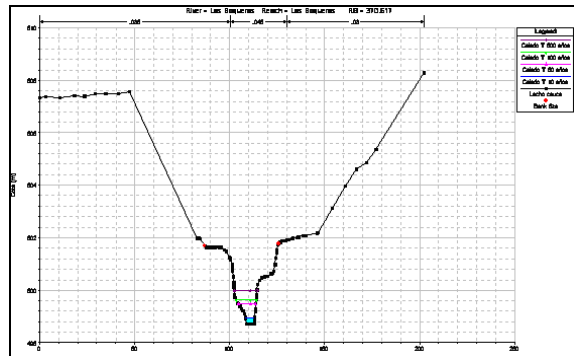


Fig. 6: Sección transversal del programa HEC-RAS, donde se aprecia más puntos en el lecho del cauce.

Insistiendo en la premisa de la exactitud en la representación cartográfica, y volviendo al tema principal de esta comunicación, el hecho de incluir todos estos elementos antrópicos de larga duración, existentes o futuros, directamente en la representación del terreno, nos asegura conseguir resultados más verosímiles del riesgo de inundación de las diferentes realidades posibles.

3. Cartografía de Riesgo

Una vez se ha procedido a la modelización hidráulica en HEC-RAS, es necesario superponer los datos al MDT para representarlo en un plano; es lo que también se conoce como *postproceso*. Un solo punto con un dato erróneo de cota puede cambiar toda la mancha de superficie de riesgo de inundación, pues eso significa que el agua bascule hacia uno u otro lado, ofreciendo resultados erróneos.

El resultado final es la creación de una cartografía donde se representará gráficamente, en planta, las zonas de flujo preferente del agua para los diferentes caudales de los periodos de retorno calculados (en nuestro caso para 10, 25, 50, 100 y 500 años), dando como resultado la cartografía del riesgo de inundación.

Dentro del índice de planos que deben adjuntarse al Estudio de Inundabilidad (localización del área de estudio en su contexto territorial, geomorfológico, ordenación propuesta o usos del suelo) destacaremos los tres siguientes: plano de las manchas de inundación, plano de dominio público hidráulico y plano de medidas preventivas o correctoras.

Según establece el artículo 4.1 del *Texto Refundido de la Ley de Aguas*, el área de inundación del período de retorno de 10 años o máxima crecida ordinaria, se considera el cauce legal y que permitirá definir el Dominio Público Hidráulico a partir de éste periodo de retorno. Por ese motivo, el hecho de delimitar mal este periodo de retorno significa delimitar erróneamente el cauce legal y consecuentemente el Dominio Público Hidráulico, con la consiguiente afección posible a propiedades públicas o privadas adyacentes.

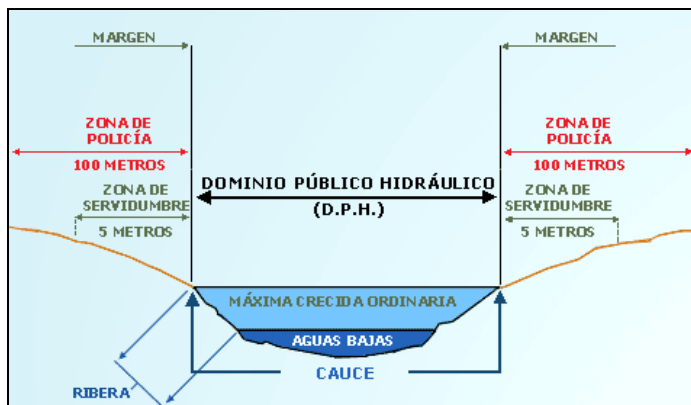


Fig. 7: Delimitación del Dominio Público Hidráulico: el Proyecto Linde.

3.1. Medidas preventivas

Al definir las zonas que pueden ser potencialmente afectadas por crecidas, así como la frecuencia e intensidad de la propia inundación, estamos contribuyendo a la definición de instrumentos de planificación y

gestión territorial ya que, a parte de lo más importante que es llegar a la conclusión sobre la *Viabilidad del Proyecto*, nos pueden ayudar a definir medidas preventivas o correctoras: sobre la ordenación urbanística, sobre las infraestructuras o sobre la edificación.

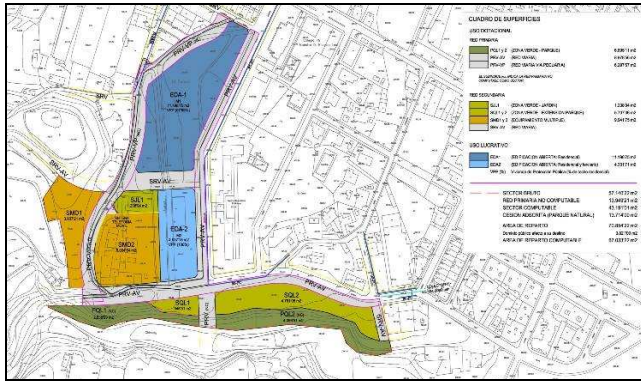


Fig. 8: Definición de medidas correctoras sobre condicionantes a la ordenación urbanística.

Estas medidas se pueden articular con el planeamiento municipal y territorial integrado existente, así como en el previsto, a través de una normativa técnica y de protección aplicables en la ejecución del plan. Sin embargo, previamente a su integración real, para comprobar la *Viabilidad del Proyecto*, se puede hacer una última modelización, creando un nuevo plan en HEC-RAS, donde se incluya la medida correctora propuesta, como se aprecia en la imagen adjunta, para asegurar que es mas que suficiente para asumir la mayor crecida potencial. En este punto del proceso, se reitera nuevamente la importancia de la representación de la realidad, lo mas exacta posible, tanto de las estructuras de larga duración existentes en la actualidad como de las que se proponen, para corroborar su comportamiento futuro.

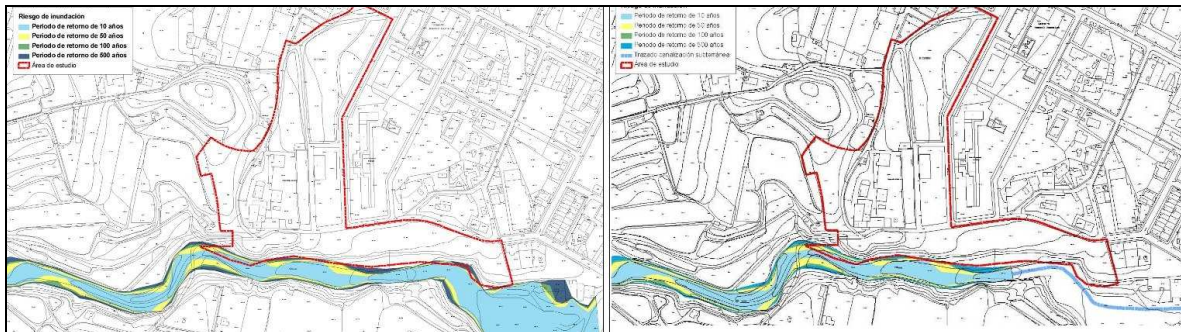


Fig. 9: El riesgo de inundación antes y después de la definición de medidas correctoras sobre las infraestructuras.

4. Conclusiones

Como principales conclusiones de la metodología y consideraciones realizadas, se extrae que la utilización de cartografía LIDAR en los estudios de inundabilidad no solo es una solución valida sino la más adecuada (Gómez, A. 2005), convirtiéndose en una herramienta imprescindible para la cartografía de riesgos de inundación, habiendo aportado a los estudios de inundabilidad:

- Resultados más precisos que los obtenidos de las representaciones cartográficas tradicionales.
- La fiabilidad en la elaboración de la modelización hidráulica obliga a contar con MDTs de la más alta precisión posible, y sólo con la cartografía LIDAR podremos realizar análisis con cierto grado de fiabilidad que no nos aseguraban las representaciones cartográficas tradicionales.
- Abaratamiento de los costes de los estudios de inundabilidad, ya que hasta su aparición era necesario realizar trabajos de levantamiento cartográfico de puntos concretos (más costosos), intentando conseguir esa exactitud en la representación. Aunque dichos levantamientos conseguían mucha exactitud, el problema radicaba en que ese tipo de representación no era la más adecuada para la modelización hidráulica y se hacían necesarios largos procesos de depuración que provocaban que los trabajos se alargaran en el tiempo, incrementando enormemente sus costes.
- Cartografía más apta para la realización de estudios de inundabilidad puesto que, a la hora de representar el terreno, se pueden diferenciar varios tipos de representación, corrigiendo todos los problemas que surgían a la hora de la representación cartográfica. A la representación del MDT, se añade la posibilidad de representación de un MDE (Modelo Digital de Elevaciones) o MDS (Modelo Digital de Superficies), así como sus variantes: el MDT real y el MDT actual.
- Como único inconveniente, hay que reseñar el gran peso de la información, puesto que suelen ser archivos que ocupan una gran cantidad de información y se tornan costosos de manejar, por lo que su tratamiento se alarga en el tiempo. Por esta razón, se utiliza para la realización de la modelización de detalle, es decir, solo para la modelización hidráulica no para la hidrológica. Sin embargo, este inconveniente queda altamente recompensado con las ventajas anteriormente descritas.

Referencias

- Olaya, V. "Hidrología computacional y Modelos Digitales del Terreno – Teorías, práctica y filosofías de una nueva forma de análisis hidrológico". Revision 2004.
- PLAN DE ACCIÓN TERRITORIAL DE CARÁCTER SECTORIAL SOBRE PREVENCIÓN DEL RIESGO DE INUNDACIÓN DE LA COMUNIDAD VALENCIANA (PATRICOVA). Consellería de Infraestructura, Territorio y Medio Ambiente. Generalitat Valenciana.
- Gómez, A; Delgado, J & Pérez, N.: Sistema LIDAR para la confección de DTMs en reemplazo de fotogrametría convencional obtención de DTM y DSM mediante tecnología LIDAR. Aplicación al río Ebro. 2005.
- Guía metodológica para el desarrollo del Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables. Ministerio de Medio Ambiente, Medio Rural y Marino. Madrid. 2011.
- Diez Herrero, A., Laín Huerta, L. & Llorente Isidro, M. A handbook on flood hazard zapping methodologies. Ministerio de Ciencia e Innovación. Geological Survey of Spain. Madrid. 2009.