
IDENTIFICACIÓN DE RIESGOS HIDROLÓGICOS EN PROYECTOS DE INGENIERÍA CIVIL. PARTICULARIZACIÓN PARA PROYECTOS DE GENERACIÓN FOTOVOLTAICA.

Autores: Manuel Delgado Arroyo, Jose Luis Fortes Revilla, Fernando Puell Marín
Departamento de Hidrología e Hidráulica de Orbis Terrarum.

Palabras clave: Planificación hidrológica, riesgos hidrológicos, inundación, drenaje, plantas fotovoltaicas, periodo de retorno, diseño lógico, sentido común.

1. INTRODUCCIÓN

En cualquier proyecto de ingeniería civil es indispensable evaluar los riesgos hidrológicos que puedan afectar al proyecto, de modo que se maximice su vida útil y se eviten futuros daños a la infraestructura por fenómenos de inundación. Según datos del Consorcio de Compensación de Seguros, las inundaciones supusieron hasta 2018 unos 800 millones de euros anuales en pérdidas en España y el valor se ha incrementado con los episodios de lluvias torrenciales ocurridos en estos últimos años, lo cual pone de manifiesto la necesidad de una buena planificación hidrológica.



Drcha. Fotografía aérea de las inundaciones causadas por el río Ebro en Aragón y Navarra en el año 2015. Izqda. Fotografía del episodio de lluvias torrenciales en la Región de Murcia en el año 2019.

Orbis Terrarum cuenta con una gran experiencia en el desarrollo de estudios hidrológicos y de evaluación de riesgos de inundación en multitud de países. En base a esta experiencia, podemos asegurar que el avance de la técnica (herramientas GIS, software de modelización hidrológica e hidráulica, metodología BIM, etc.) se ha vuelto fundamental para la correcta evaluación de los riesgos hidrológicos, por lo que nos apoyamos en las últimas tecnologías para ofrecer una correcta evaluación de riesgos hidrológicos a nuestros clientes en el desarrollo de sus proyectos.

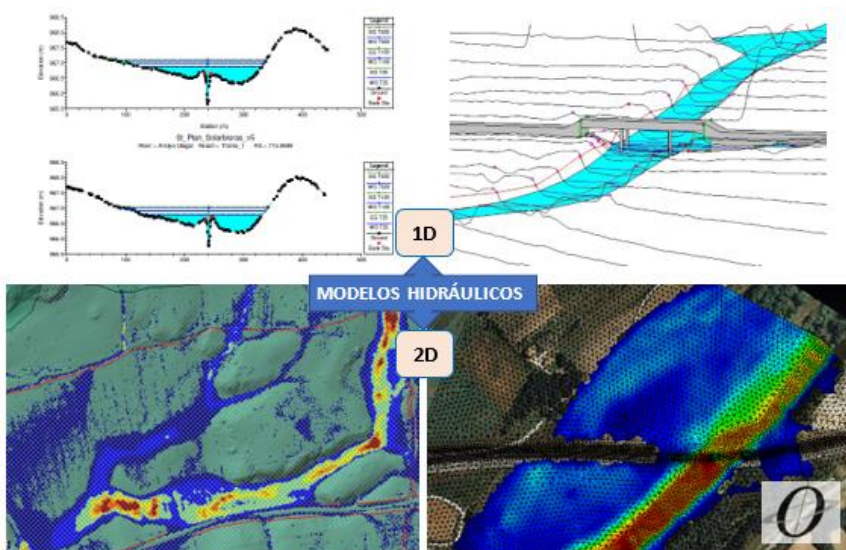
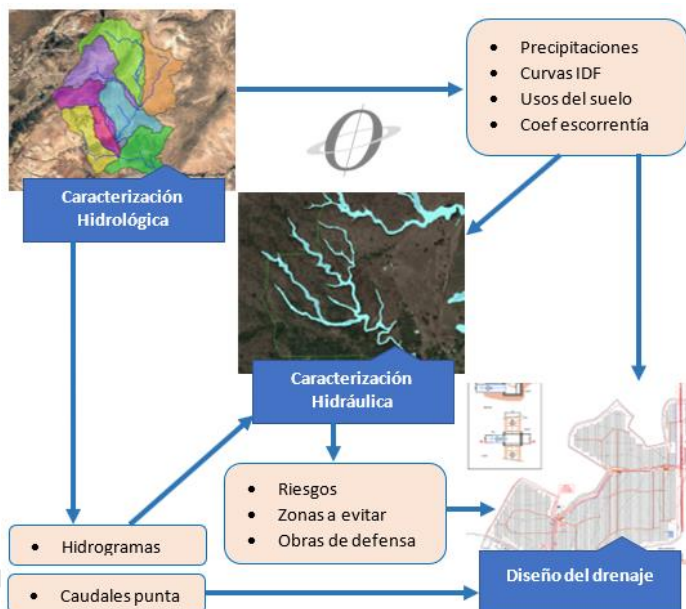
2. DESCRIPCIÓN DEL MÉTODO

Para identificar los riesgos asociados a fenómenos de inundación que se pueden dar en un proyecto es necesario abordar este tipo de estudios desde la fase preliminar de diseño, ya que un estudio tardío puede identificar riesgos que obliguen al rediseño del proyecto, lo que se traduce en tiempo y sobrecostos indeseados.

En general, para cualquier proyecto es posible seguir un esquema de tres fases, interconectadas entre sí, que son: una planificación hidrológica que permita identificar las

cuencas vertientes que afecten al proyecto y los parámetros característicos de dichas cuencas para el cálculo de los hidrogramas; una simulación hidráulica que permita evaluar los riesgos asociados a posibles inundaciones que afecten al proyecto; y una última fase, en la que diseñe un drenaje adecuado y se definan las actuaciones necesarias para mitigar el riesgo.

En la actualidad es posible contar con multitud de información geoespacial en cualquier parte del mundo (cartografía, altimetría, usos del suelo, ortofotos aéreas, etc.), por lo que un buen conocimiento de herramientas GIS es casi indispensable para realizar una caracterización hidrológica eficiente. En este sentido, Orbis utiliza las últimas herramientas (vuelos LIDAR, software especializado, etc.) disponibles para la obtención de MDTs que permiten definir las cuencas que afectan al proyecto y que sirven de base para los futuros cálculos hidráulicos. Además, a partir de imágenes de satélite, podemos definir el nivel de cobertura vegetal para grandes extensiones, obteniendo una estimación mucho más precisa de la escorrentía generada.



En base a los datos del estudio hidrológico previo podemos caracterizar, con un nivel de precisión elevado, la inundación esperable (definida por un calado y su velocidad asociada) en el área de estudio. Para realizar esta caracterización, lo más adecuado es recurrir a modelos

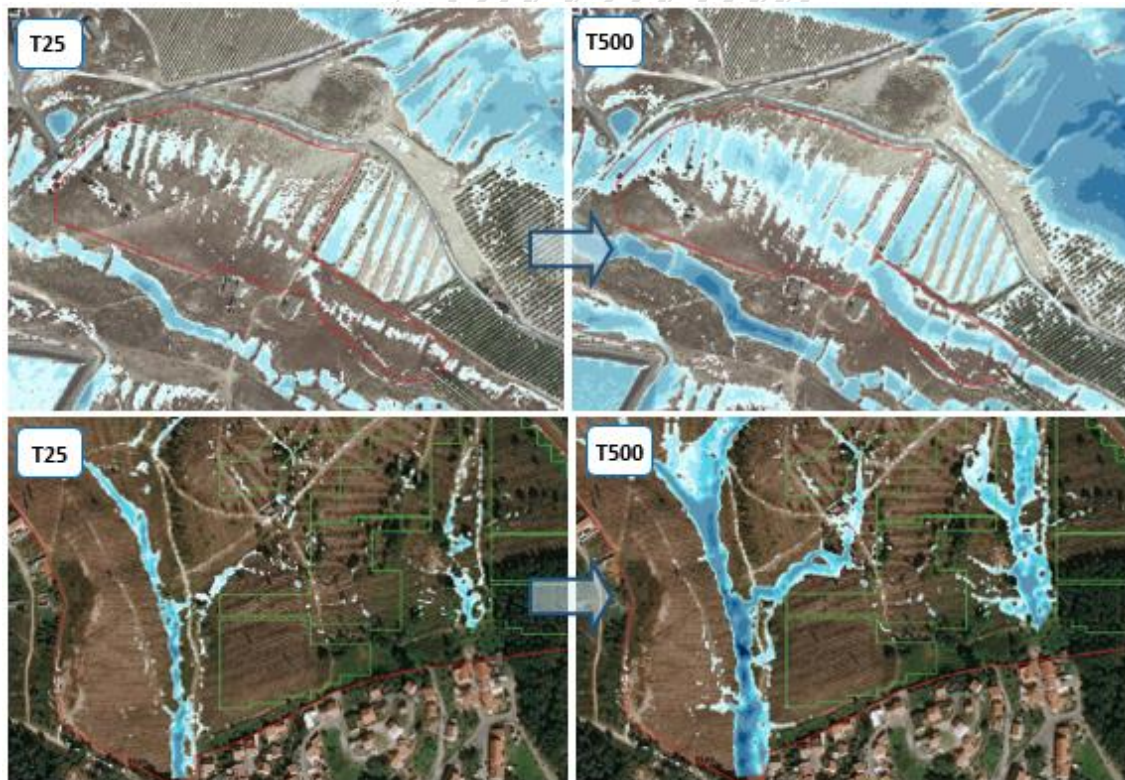
hidráulicos bidimensionales, que permiten obtener la velocidad de un flujo en las dos componentes horizontales (x, y). Esto tiene varias ventajas, ya que por una lado permite conseguir una caracterización más precisa del comportamiento del flujo en los cauces principales y, por otro lado, permite identificar pequeñas corrientes o flujos subsidiarios que puedan afectar a la construcción de la infraestructura.

La última etapa es el diseño del drenaje. En el caso de infraestructuras abiertas como plantas fotovoltaicas, esta fase debería realizarse en los últimos estadios del proyecto, ya que la configuración final de la planta y sus posibles movimientos de tierras variará mucho las necesidades constructivas de la red de drenaje, así como su dimensionamiento.

3. RESULTADOS APLICADOS AL DISEÑO

Como resultado de la caracterización hidrológica y la posterior simulación hidráulica es posible obtener la inundabilidad esperable en un área para distintos periodos de retorno. Aquí cobra especial importancia el concepto “periodo de retorno”, que se refiere a la probabilidad de que un episodio de avenida se de cada T años. Es decir, un periodo de retorno $T=100$ años significa que el episodio de lluvia estudiado se dará, de media, una vez cada 100 años.

El conocimiento del periodo de retorno es, por tanto, fundamental para entender los resultados y ponerlos en contexto, pero también para condicionar el diseño de la infraestructura y proponer la compatibilidad de usos.



Ejemplos de distribución de calados en plantas fotovoltaicas (contorno rojo) situada en Murcia y Portugal. Resultados para $T=25$ años a la izquierda y $T=500$ años a la derecha.

Como se ve en las imágenes anexas, la elección del periodo de retorno condiciona mucho los resultados, por lo que es conveniente fijar los periodos que es necesario estudiar antes del comienzo del estudio (en base a la normativa, pero también en base a la lógica) y contextualizar los resultados obtenidos. Por ejemplo, si una infraestructura no es crítica y su vida útil va a ser de 10-15 años, no tiene sentido analizar los resultados en base a un periodo de retorno de 500 o 1.000 años.

Analizando la normativa española, la Ley de Aguas y el Reglamento del Dominio Público Hidráulico (DPH) marcan un periodo de retorno de 100 años para determinar la peligrosidad de la inundación y la zona de flujo preferente. En cuanto al DPH, se determina en función del contorno inundado para la Máxima Crecida Ordinaria, que se puede establecer en un periodo de retorno de 10 años. Además, las normativas propias de las administraciones competentes en materia de aguas suelen marcar un periodo de retorno de 500 años, con el objetivo de minimizar los riesgos hidrológicos en nuevos desarrollos.

Puntualizando para plantas fotovoltaicas, es recomendable caracterizar también la inundación esperable para un periodo de retorno $T=25$ años, ya que coincide con el periodo de dimensionamiento del drenaje y, por tanto, puede aportar información útil para su diseño. No obstante, es recomendable respetar siempre los contornos de inundación para $T=100$ años, aunque contextualizando un poco en función de los usos que se vayan a proyectar. Por ejemplo, los paneles solares se colocan elevados con respecto al terreno, por lo que una

lámina de inundación de 20-25 cm con una velocidad baja (menos de 0.5-1.0 m/s) puede ser compatible con su colocación. De igual forma, los inversores y transformadores pueden colocarse en plataformas elevadas, siempre que las velocidades del flujo sean bajas y no produzcan erosión. En cambio, una subestación eléctrica es mucho más susceptible a estos calados, aunque la velocidad sea nula, por lo que es mucho más recomendable situarla fuera de los límites de la inundación esperable para T=500 años.

De igual manera, es necesario contextualizar el dimensionamiento del drenaje con el tipo de infraestructura que se esté proyectando y elegir correctamente el periodo de retorno para dimensionar sus elementos. En infraestructuras lineales, como carreteras o líneas de ferrocarril, el drenaje cobra especial importancia: el longitudinal protege la plataforma de la infraestructura y el transversal permite la continuidad del flujo. No obstante, en infraestructuras abiertas como pueden ser las plantas fotovoltaicas es necesario aplicar el sentido común, pese a alejarnos de las recomendaciones de las guías técnicas (usualmente diseñadas para carreteras).

Particularizando para el caso de las plantas fotovoltaicas, una de las primeras consideraciones que es necesario tener en cuenta es que el agua siempre tiende a buscar su camino natural, por lo que los grandes movimientos de tierras que tapan cauces generan problemas de erosión y estabilidad en un futuro.



Ejemplo erosión en relleno antrópico en Murcia.

Esto hace que las cunetas perimetrales sean poco eficientes cuando existen flujos concentrados. Además, la configuración de las plantas hace que sean compatibles

con pequeñas escorrentías superficiales, por lo que las cunetas perimetrales que evitan la entrada de escorrentía en la parcela son poco adecuadas. Por tanto, es mucho más adecuado identificar estos riegos previamente a la construcción de la planta y diseñar la implantación en base a criterios de seguridad, permitiendo el flujo libre de las escorrentías identificadas como peligrosas, en lugar de plantear grandes alteraciones de la topografía superficial o sistemas de drenaje complejos.

Siguiendo con la premisa de realizar un diseño lógico, también es necesario analizar el diseño del drenaje en base a la infraestructura que se está diseñando. En general, las normativas de referencia que se utilizan en diversos países para condicionar este diseño están pensadas para obras lineales y de carreteras, donde un diseño deficiente puede repercutir muy negativamente en la infraestructura, por lo que suelen ser muy restrictivas con respecto a las velocidades máximas admisibles y priorizan el revestimiento con hormigón. No obstante, en instalaciones fotovoltaicas no tiene sentido aplicar estas restricciones, ya que el drenaje debe diseñarse únicamente para proteger las vías internas que permiten la operatividad de la planta. Por tanto, es mucho más lógico invertir en el mantenimiento de cunetas en tierras más que proyectar grandes redes muy invasivas y hormigonadas, que solo sirven para concentrar el flujo y aumentar su velocidad, generando nuevos riesgos en las áreas situadas aguas abajo.

4. CONCLUSIONES

Una de las conclusiones más importantes que hemos extraído de nuestra experiencia es que, en general y lamentablemente, los estudios de inundaciones se realizan en una demasiado fase avanzada de los proyectos, cuando el diseño está prácticamente definido y con poco tiempo para reaccionar a las conclusiones del estudio hidrológico.

Particularizando para la instalaciones fotovoltaicas, esto puede generar muchas situaciones indeseadas, como pérdida de potencia de generación eléctrica en la instalación, problemas de

tramitación con las administraciones hidráulicas (Dominio Público Hidráulico y zonas asociadas), o sobrecostes indeseados (necesidad de balsas de laminación, cuencos disipadores, estructuras hidráulicas de mitigación del riesgo, horas de ingeniería para el rediseño, etc.). Además de los riesgos, otro condicionante que se puede evitar es el de elegir parcelas sin un drenaje definido aguas abajo, lo que se traduce en complejas obras de evacuación o de laminación-disipación para no empeorar la situación hidrológica aguas abajo. Por tanto, se recomienda realizar la caracterización hidrológica e hidráulica junto con los estudios previos.

Tanto para la evaluación de riesgos como para el diseño del drenaje, es necesario elegir correctamente los periodos de retorno a emplear. En el caso de las instalaciones fotovoltaicas, es recomendable conocer los resultados para T=10-25-100-500 años; siendo T=100 años el periodo más adecuado para fijar las medidas restrictivas a la implantación y T=25 años el más adecuado para el drenaje. Estos periodos de retorno se definen en base a las normativas habituales, pero también en base a la lógica. Por tanto, pueden servir también de guía para el desarrollo de proyectos en cualquier país, aunque atendiendo siempre a las normativas locales.

En cuanto a la compatibilidad de usos, la tipología de cimentación y colocación de los paneles fotovoltaicos los hace compatibles con ciertos calados (menos de 25 cm) y velocidades (menos de 0.5 a 1.0 m/s en función del terreno y la cobertura vegetal) esperables para T=100 años. No obstante, otras instalaciones como las casetas o los inversores son más susceptibles a estos calados, por lo que es más recomendable situarlas fuera de zonas inundables o elevarlas ligeramente con respecto al terreno natural. Además, en caso de proyectar una subestación eléctrica, es conveniente situarla fuera del contorno inundado para T=500 años.

Por último, en cuanto al drenaje, es recomendable trazarlo en una fase avanzada del proyecto, cuando el diseño es prácticamente definitivo, ya que la configuración final de la planta variará mucho las necesidades constructivas de la red de drenaje, así como su dimensionamiento. Además, la escorrentía superficial difusa (calados y velocidades bajas), por lo general, no va a generar riesgos en la instalación, por lo que el drenaje deberá ser poco invasivo, respetando los cauces principales, y limitándose a proteger los caminos o plataformas singulares, de forma que se asegure la operatividad de la planta.