

# Modelos de inundación del Sistema Nacional de Cartografía de zonas inundables vs. inundaciones reales

## Francisco Roselló Vilarroig

Jefe del Servicio de Hidrología

Confederación Hidrográfica del Segura Organismo Autónomo

Ministerio para la Transición Ecológica

Los mapas de peligrosidad son una de las herramientas clave para la gestión del riesgo de inundación. Tal es su importancia que la Directiva 2007/60/CE sobre la evaluación y gestión de los riesgos de inundación y el Real Decreto 903/2010, de 9 de julio, que la traspone al ordenamiento jurídico español dedican una de las tres fases del proceso de planificación precisamente a su elaboración.

Estos mapas incluyen las zonas geográficas que podrían inundarse en escenarios de baja, media y alta probabilidad de inundación, que en España se han concretado en los periodos de retorno de 500, 100 y 10 años respectivamente. Un periodo de retorno de  $n$  años para un evento significa que la superación de ese evento, de media, se produce cada  $n$  años. La probabilidad de que un año cualquiera se supere ese evento será de  $1/n$ . Así por ejemplo, una inundación de 100 años de periodo de retorno es una inundación que, de media, se ve superada cada 100 años y que cada año tiene una probabilidad de ocurrir de  $1/100$ , es decir, 1%. La elaboración de estos mapas se realiza básicamente a través de un estudio hidrológico y de un estudio hidráulico. Con el primero se estiman los caudales que pueden llegar a circular por un punto determinado del cauce estudiado para cada periodo de retorno a partir de series pluviométricas existentes y de modelos que transforman la lluvia en caudal para una cuenca determinada. El estudio hidráulico simula cómo ese caudal discurre por el cauce y, en caso de desbordamiento, por sus márgenes. Con ello se obtienen unos mapas que muestran la superficie que quedaría inundada, el calado o nivel que alcanzaría el agua en cada punto e incluso la velocidad con la que circularía.

Las zonas inundables calculadas tienen limitaciones importantes respecto a la inundación que se produciría en un evento concreto y, aunque las técnicas y modelos actuales son muy precisos, una inundación real de un evento puede variar significativamente respecto a lo calculado. En primer lugar, no es posible tener en cuenta los efectos de erosiones, deslizamientos, sedimentaciones, etc. Por otro lado, tampoco es posible considerar los efectos que determinados elementos puedan producir mediante obstrucciones y derivaciones del flujo, como árboles caídos, vehículos o sedimentos transportados. Finalmente, en los casos de zonas inundables de gran extensión, con asentamientos urbanos importantes, las dificultades para representar adecuadamente en el modelo hidráulico todos los elementos artificiales que influyen en las características del flujo y las propias limitaciones computacionales derivadas de gran cantidad de datos procesados también pueden hacer que los resultados de la inundación difieran de las previsiones del modelo.

En cualquier caso, las inundaciones ocurren y cuando, para un lugar concreto que sufre el evento, existe un mapa de peligrosidad, este puede calibrarse con la toma de datos en campo, identificando cualquier indicio que permita delimitar la extensión de la inundación o, incluso, determinar los calados que ha alcanzado la inundación. También puede hacerse uso de fotografías y videos, de prensa, de redes sociales y de internet. De esta manera puede comprobarse si el modelo es válido. Actualmente, además, en determinadas situaciones favorables, es posible tomar imágenes

Las zonas inundables calculadas tienen limitaciones importantes respecto a la inundación que se produciría en un evento concreto y, aunque las técnicas y modelos actuales son muy precisos, una inundación real de un evento puede variar significativamente respecto a lo calculado.

En cualquier caso, las inundaciones ocurren y cuando, para un lugar concreto que sufre el evento, existe un mapa de peligrosidad, este puede calibrarse con la toma de datos en campo, identificando cualquier indicio que permita delimitar la extensión de la inundación o, incluso, determinar los calados que ha alcanzado la inundación.

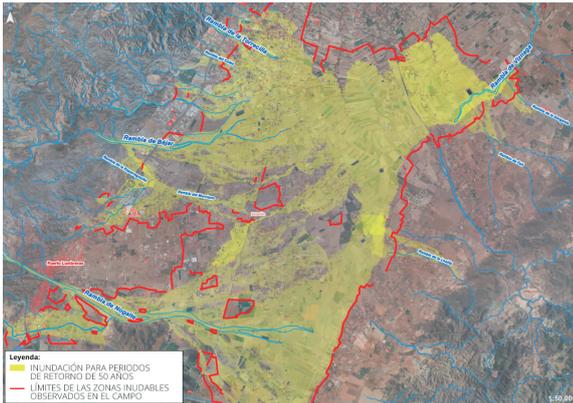


Figura 1. Puerto Lumbreras y Lorca. Comparación entre el modelo de inundabilidad para un periodo de retorno de 500 años (en amarillo) y los límites observados de la inundación real (en rojo).



Figura 2. Imagen del satélite Sentinel (Agencia Espacial Europea –ESA–) sobre el campo de Cartagena el día 13 de septiembre de 2019. Junto al mar se encuentra la población de Los Alcázares, al noreste San Javier y al suroeste Torre Pacheco.



Figura 3. Imagen del satélite Sentinel (Agencia Espacial Europea –ESA–) sobre el campo de Cartagena el día 13 de septiembre de 2019 tratada por la OPH de la CHS, comparando la zona inundada (en rojo) con el modelo de la CHS para un periodo de retorno de 50 años (en cuadrícula amarilla).

nes de la inundación en el mismo momento en que ocurre desde medios aéreos, ya sean avionetas, helicópteros o drones, aunque en inundaciones extensas estos medios pueden no llegar a volar toda la zona inundada. El proceso puede ser a la inversa, empleando estos antecedentes para elaborar el modelo de una zona aún no estudiada, pero en la que ya han ocurrido inundaciones.

Tras la conocida como riada de San Wenceslao, ocurrida el 28 de septiembre de 2013, pudieron calibrarse de esta manera los mapas elaborados por la Confederación Hidrográfica del Segura (CHS) para el Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables (SNCZI). En la figura 1 se muestra una comparación de la zona inundable para un periodo de retorno de 500 años según el modelo y, con trazos rojos, los límites de la inundación observados realmente entre Puerto Lumbreras y Lorca.

Sin embargo, a veces puede disponerse, además, de imágenes de satélite que abarcan amplias zonas. Este ha sido el caso de las inundaciones en Murcia entre los días 12 y 13 de septiembre de 2019.

La imagen del satélite Sentinel de la Agencia Espacial Europea (ESA) captó el campo de Cartagena el día 13 de septiembre de 2019, como se muestra en la figura 2. En ella, junto al mar se encuentra la población de Los Alcázares, al noreste San Javier y al suroeste Torre Pacheco. En la figura 3, con un tratamiento de la imagen original del Sentinel realizada por la Oficina de Planificación Hidrológica (OPH) de la CHS para resaltar en color rojo las zonas inundadas, se puede observar la bondad del modelo realizado por la CHS para el SNCZI para un periodo de retorno de 50 años. A la vista de ello, se puede aproximar el periodo de retorno del evento real precisamente en el entorno de los 50 años. Aun así, y siempre teniendo en cuenta que la imagen del Sentinel es en un momento concreto determinado, y que no necesariamente refleja la inundación máxima acaecida, se aprecian ligeras diferencias entre el modelo y la realidad en el sentido de que aparecen zonas que realmente se inundaron, pero que los modelos no recogen ni para periodos de retorno de 500 años. Las causas pueden ser diversas, además de las propias limitaciones de los modelos. Cabe destacar que la inundación en esta zona viene muy influida por la lluvia in situ, es decir, además de por los flujos procedentes de aguas arriba, por la gran cantidad de lluvia que cae en el terreno y que, por la escasa pendiente, se va acumulando rápidamente. Este efecto es difícil de modelizar, por lo que pueden aparecer zonas que se inundan en parte o únicamente por la lluvia in situ. Esto puede apreciarse en

las figuras 4 y 5, donde se comprueba que las zonas que se inundaron se encuentran a cotas inferiores al propio entorno, acumulando la lluvia que cae directamente sobre ellas sin posibilidad de desagüe: parcelas bajo la rasante de viales en proceso de urbanización, solares aislados por rellenos, balsas, etc. Además, en una región tan llana como la afectada, el modelo digital del terreno (MDT) con el que se ha realizado el estudio hidráulico puede no haber recogido ligeras diferencias de cota (de escasos centímetros) que, finalmente, influyen en la realidad. Del mismo modo, cualquier modificación topográfica posterior al MDT empleado puede influir. Asimismo, incluso durante el evento pueden producirse circunstancias que cambien la situación respecto al comportamiento modelado como, por ejemplo, roturas de muros, caballones o terraplenes, a causa de los flujos de avenida, que sí estaban contemplados por el modelo, pero no su rotura.

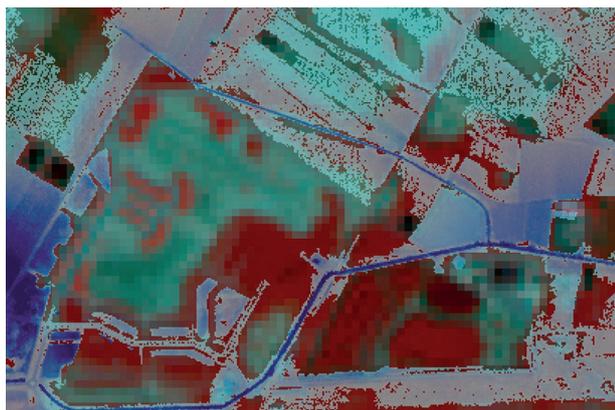


Figura 4. Imagen del satélite Sentinel (Agencia Espacial Europea -ESA-) sobre el campo de Cartagena el día 13 de septiembre de 2019 tratada por la OPH de la CHS, comparando la zona inundada (en rojo) con el modelo de la CHS de calados para un periodo de retorno de 100 años (en gradación de azules).



Figura 5. Ortofoto con el modelo de la CHS de calados para un periodo de retorno de 100 años (en gradación de azules), donde se aprecia que zonas que se inundaron realmente lo hicieron no por flujos sino por lluvia in situ, al tratarse de zonas aisladas con cotas inferiores al propio entorno como, por ejemplo, parcelas bajo las rasantes de los viales en zonas a medio urbanizar.

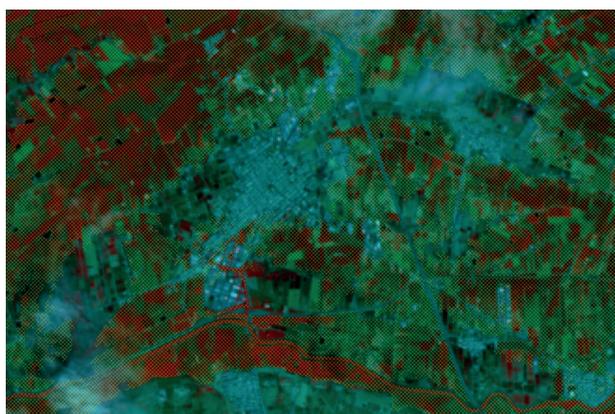


Figura 6. Imagen del satélite Sentinel (Agencia Espacial Europea -ESA-) sobre la localidad de Almoradí (Alicante, vega baja del Segura) el día 13 de septiembre de 2019 tratada por la OPH de la CHS, comparando la zona inundada (en rojo) con el modelo de la CHS para un periodo de retorno de 500 años (en cuadrícula amarilla).

También se ha podido comprobar el ajuste de los modelos en la Vega Baja del Segura. En la figura 6, en cuyo centro aparece la población alicantina de Almoradí. Con el mismo tratamiento de la imagen original del Sentinel ya comentado, se muestra el modelo realizado por la CHS para el SNCZI para el periodo de retorno de 500 años (amarillo), que rebasa la zona realmente inundada, pero queda bastante ajustado por lo que, posiblemente, el periodo de retorno de la inundación en este tramo se encontrase entre los 100 y 500 años.

Con más detalle, con imágenes tomadas desde helicópteros pueden compararse los modelos en la localidad de Orihuela (en la imagen del Sentinel aparece cubierta por nubes). En las figuras 7 y 8 pueden observarse, como referencia, un aparcamiento y un campo de fútbol. En las siguientes se muestran los modelos de calados en las mismas zonas para los periodos de retorno de 50 y 100 años, que es el rango en el que se encontraría el evento real. Se observan ligeras diferencias, posiblemente por tratarse de un terreno muy llano y por haber sufrido alguna modificación el aparcamiento desde el que se tomaron las imágenes para realizar el MDT.



Figura 7. Foto tomada en vuelo por Protección Civil de la Generalitat Valenciana sobre la localidad de Orihuela, al este del casco urbano. En el ángulo superior izquierdo se aprecia el cauce del río Segura.



Figura 8. Fotos tomadas en vuelo por Protección Civil de la Generalitat Valenciana sobre la localidad de Orihuela, al este del casco urbano. En la imagen inferior se observa la vía de ferrocarril y en la imagen superior, abajo a la derecha el campo de fútbol al que se hace referencia.



Figura 9. Ortofoto con el modelo de calados para el periodo de retorno de 50 años, resaltando en rojo el aparcamiento y el campo de fútbol que se ven en las figuras 7 y 8.



Figura 10. Ortofoto con el modelo de calados para el periodo de retorno de 100 años, resaltando en rojo el aparcamiento y el campo de fútbol que se ven en las figuras 7 y 8.

Finalmente, existe un modelo de El Pilar de la Horadada (Alicante) que, aunque todavía no se ha publicado en el visor de zonas inundables de la CHS (<https://www.chsegura.es>), se ha podido comprobar en parte su fiabilidad, ya que el modelo mostraba el riesgo de inundación de los túneles de la AP-7 a su paso por esta localidad. En las imágenes 11 y 12 se muestran el modelo completo para la zona y el detalle de la zona del túnel.



Figura 11. Ortofoto con el modelo de calados para un periodo de retorno de 500 años. La AP-7 discurre por el oeste, viéndose la entrada del túnel en el ángulo inferior derecho de la imagen.



Figura 12. Vista de detalle del túnel de la AP-7, observándose su entrada sur, que queda inundado por el desbordamiento de la rambla, cuyo cauce continúa hacia aguas abajo pasando precisamente por encima del túnel. Justo a la entrada, el calado obtenido por el modelo es de 1,6 m.

Puede concluirse, por lo tanto, que la cartografía de zonas inundables generada en los últimos años para el SNCZI, si bien tiene ciertas limitaciones, refleja con notable precisión la peligrosidad de aquellas zonas que de momento se han podido cartografiar, como por desgracia se ha ido comprobando según las inundaciones se han ido sucediendo. De esta manera, es importante difundir la existencia de estos mapas y promover su uso en cualquier proceso de planificación, ya sea de ordenación territorial, urbanística, de protección civil, de diseños de infraestructuras, etc.