

RESUMEN

1.- Introducción y objeto del estudio

La cuenca del río Bidasoa ha sido escenario de numerosas inundaciones. Especialmente dañinas han sido las acontecidas en los años 1913, 1953, 1983, 2007 a las que hay que sumar 2009 y 2011. Esto ha hecho que sea objeto de análisis y evaluación en varias ocasiones por varios organismos, a distinta escala, ámbito y alcance.

El objeto de este estudio promovido por el Gobierno de Navarra, es realizar un análisis de riesgos por inundación y planteamiento de medidas para la elaboración de la información para los Planes de Gestión del Riesgo por inundación (PGR) en la cuenca del río Bidasoa en Navarra, respondiendo así al RD 903/2010 de Evaluación y Gestión de riesgos de inundación, transposición de Directiva inundaciones (2007/60/CE) delimitar las zonas legales de la Modificación del RDPH (RD 9/2008), es decir DPH, Zona de Graves Daños, Vía de Intenso Desagüe y Zona de Flujo Preferente, actualizar las zonas de Riesgos Para Protección Civil así como los caudales característicos (definidos por daño), analizar la zonificación de Riesgo según los criterios definidos por el Gobierno de Navarra según las características de la inundación para los Planes de Ordenación Territorial (POT), el análisis de propuestas en curso y otras medidas estructurales y no estructurales de mitigación de riesgo de ámbito local como ampliación de capacidad hidráulica, o actuaciones que mejoren la resiliencia en las zonas afectadas o general como identificación de umbrales para la implementación de un Sistema de Alerta Temprana.

El estudio se contrató en colaboración con la Confederación Hidrográfica del Cantábrico para ser incorporado en el Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables.

El ámbito del estudio son los cauces principales de la cuenca del río Bidasoa en territorio navarro. En total 104 km de cauce y 625 km² de cuenca.

2.- Datos

Los datos e información base de partida han sido:

- Series en aforo, pluviómetros y pluviógrafos de la Confederación del Cantábrico, del SAIH -Ebro, del Gobierno de Navarra, de AEMET, Diputación Foral de Navarra, Euskalmet y MeteoFrance. Datos de 102 pluviómetros y 18 pluviógrafos. Datos Cartográficos y Topográficos del IGN como MDT 5x5 PNOA, MDT 25x25, BCN25; del Gobierno de Navarra LiDAR 1x1 de Tracasa, Batimétricas, Cartografía 1:5.000; fotografías aéreas y ortofotografías 1929, 1956, 1984, 2010; Mapa Geológico 1:25.000 del Gobierno de Navarra y 1:50.000 (GEODE), Geometría PUENTES y AZUDES, más SHP temáticos, Catastro y CORINE LAND COVER.
- EPRI y borrador del Plan Hidrológico de la Demarcación del Cantábrico Oriental, Maxpluwin y Caumax del Cedex, Estudio de caudales máximos en las estaciones de aforo que afectan al territorio navarro y Guía Metodológica del SNCZI (MAGRAMA)
- Catálogo Nacional de Inundaciones históricas (1985 y 2010), Estudio y análisis de los riesgos de las inundaciones en Navarra (Departamento de Presidencia e Interior. Gobierno de Navarra, 1994). Estudio de Delimitación de zonas inundables y ordenación hidráulica de los ríos de la cuenca cantábrica en Navarra (Gobierno de Navarra, 2005) y estudios de detalle en Lesaka, Vera del Bidasoa, Santesteban y Donamaria.
- Criterios de zonificación de riesgos según los Planes de Ordenación Territorial de Navarra (POT)
- Patricova, Protocolos del Agencia Catalana del Agua, Plan Especial de Defensa frente Inundaciones de Tenerife y Plan de prevención de avenidas e inundaciones en cauces urbanos andaluces.

3.- Procedimientos metodológicos

Los procedimientos metodológicos se resumen en los siguientes puntos.

3.1.- Análisis de antecedentes y eventos históricos

El análisis se ha realizado mediante la recogida y estudio de noticias publicadas en los principales periódicos de tirada nacional y local además de estudios de Protección Civil:

- Diario de Navarra correspondiente al periodo 1900 – 2011 (GN), más web (actualizado hasta avenida junio 2013, se incluyen videos)
- Análisis de los riesgos de las inundaciones en Navarra (1994)
- Estudio de la Comisión Nacional de Protección Civil, 1983 (estudio de Inundaciones Históricas y Mapa de Riesgos Potenciales (1488-1983) Cuenca del Norte)
- Catálogo Nacional de Inundaciones Históricas (Cuenca del Norte, Fascículo 4)

Toda la información ha sido tratada en bases de datos y cobertura georreferenciada (31 episodios, 12 registrados por PC, 225 fotografías).

Además se realizó una encuesta municipal por núcleo de población donde se recogieron las características de los cauces, de los principales episodios, de los daños pasados y potenciales, las posibles medidas, etc... Toda la información se incluyó en una Base de datos y en coberturas georreferenciadas (22 núcleos, 314 fotografías y videos) más una serie de Coberturas GIS que incluían: "InundableFuentes", "InundableAnteriormente", "InundableEscladara", "InundableRegatas", "SeccionesDesbordamiento", "Dirección_Flujo", "Obras de protección", "FotosVideos", "Inundación NOV_2011", "Inundación FEB_2009".

3.2.- Estudio geomorfológico

A escala de cuenca se ha caracterizado y analizado la red fluvial analizando su densidad según distintos valores de superficie aportante y tiempo de concentración.

A escala de cauce se delimitó el bankfull mediante ortofografía y análisis del MDT. En cuanto a los procesos de dinámica fluvial éstos se analizaron a partir de campo, tramificando y analizando 32 puntos significativos. La movilidad en planta de los cursos fluviales fue evaluada a partir de fotografías aéreas de 1929, 1956, 1984, 2010.

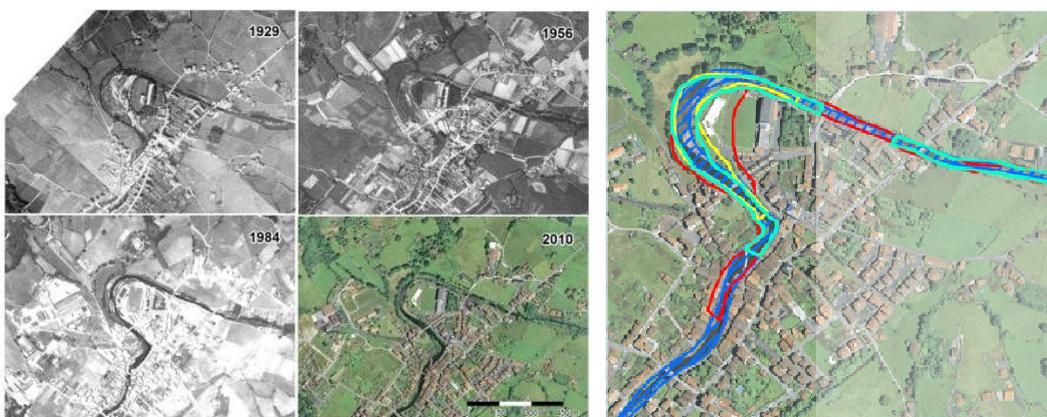


Figura 1. Movimiento del cauce en planta (1929, 1956, 1984, 2010).

También fueron identificadas las zonas de acreción e incisión, se analizó el perfil longitudinal. Finalmente se procedió a la zonificación por criterios geomorfológicos de la llanura fluvial y del Territorio Fluvial.

El estudio se completó con un análisis de riesgos en cursos de régimen torrencial mediante su identificación, pluviometría, cuenca aportante, pendiente al ápex y grado de antropización y potencial afectación.

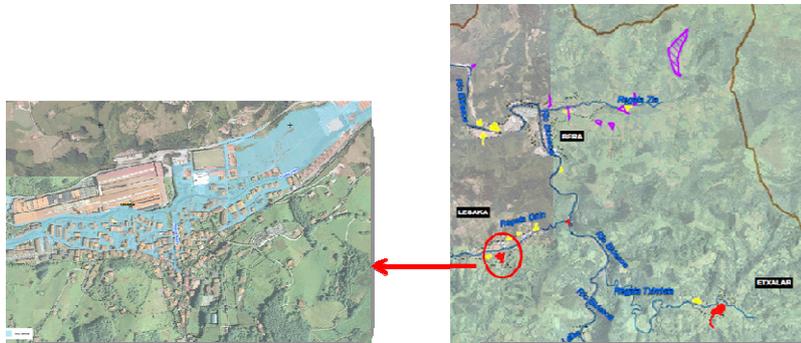


Figura 2. Análisis de riesgo en cursos torrenciales y conos

3.3.- Estudio pluviométrico

Para el cálculo de caudales no existen suficientes datos foronómicos como para caracterizar el ámbito hidráulico del estudio por lo que fue necesario construir modelos hidrológicos de evento.

Para ello, como estudio previo se realiza un análisis pluviométrico donde para la determinación de los valores de lluvia en 24h según distintos periodos de retorno se realiza mediante el ajuste de leyes de frecuencia aplicando un análisis regional índice de avenida a 60 pluviómetros. Fue necesario establecer 3 grupos; el incluido en la cuenca del Bidasoa, de gran consistencia, los de recubrimiento por el Oeste, de consistencia suficiente y los de recubrimiento Sur y Este.

Estos últimos debido a su escasa densidad no respondían a ningún patrón regional por lo que se ajustaron valores extremales a partir del método SQRT-ET máx. Con este ajuste se obtenían valores razonables frente a otros (Gumbel, LogPearson III, GEV...) y se empleaba la misma metodología que en la aplicación MAX PLUWIN, del Ministerio de Fomento para el Cálculo de Precipitaciones Máximas Diarias.

A partir de estos datos se caracterizaron varios pluviómetros ficticios necesarios para generar un grid de lluvia e isohietas por periodo de retorno en toda la cuenca. Las isohietas fueron corregidas teniendo en cuenta la orografía.

Para la caracterización del hietograma se realizó un análisis de tormentas identificando 2 patrones claros; el tipo "gota fría" y el de los grandes frentes. Como aguaceros de diseño se adoptaron la media de los eventos tipo según los 2 patrones en cada uno de 7 pluviógrafos, a paso temporal quinceminutal.

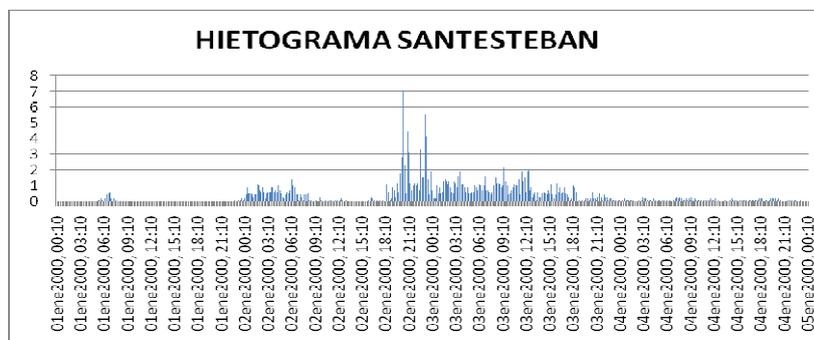


Figura 3. Ejemplo de uno de los 18 hietogramas patrón generados.

Se calcularon las curvas IDF y se determinó del coeficiente de paso de lluvia diaria a lluvia 24h. Finalmente se seleccionaron varios eventos de calibración.

Por último el coeficiente de simultaneidad aplicado se estableció por área, consistente con estos patrones, aplicando el método de Témez después de contrastar los resultados con los obtenidos por otros métodos (Gran Betraña: NERC, EEUU: NWS), durante el proceso de calibración.

3.4.- Estudio hidrológico:

Se comenzó con un estudio Foronómico ajustando las series de 4 estaciones de aforo a leyes de extremos para obtener los caudales máximos instantáneos para cada periodo de retorno. Se delimitaron y caracterizaron las sub cuencas, se determinó la precipitación areal en cada cuenca y se calcularon los hidrogramas mediante montaje de los modelos hidrológico HMS, calibrados y validados y contrastados con otros estudios y métodos (modelo hidrológico Racional, Caumax, ábaco del PHN, etc...).

En total 75 subcuencas, tamaño medio 9km² y 100 modelos hidrológicos HMS debido a la aplicación de 5 coeficientes de simultaneidad, 2 patrones de lluvia correspondientes a 2 fenómenos meteorológicos distintos y 8 periodos de retorno.

3.5.- Tratamiento de la cartografía LiDAR en las zonas Inundables.

Ha sido necesario corregir varios puntos clave en el Modelo Digital del Terreno obtenido por metodología LiDAR. Se han incluido batimétricas, corregido de cotas de muros, encauzamientos, y otros breaklines a partir de datos de campaña de campo específica y cartografía base a escala 1:5.000 de Navarra.

3.6.- Estudio hidráulico:

El modelo hidráulico empleado ha sido el GUAD 2D (Método de Volúmenes finitos). En total 14 modelos (entre 500.000 y 2.500.000 de celdas cada modelo), 151 puentes y 32 azudes modelizados y 90 hidrogramas de entrada.

La rugosidad del terreno se ha parametrizado mediante el n° de Manning obtenido a partir de la información de la BCN25, Catastro, ortofoto y digitalización de correcciones de escala de las distintas fuentes.

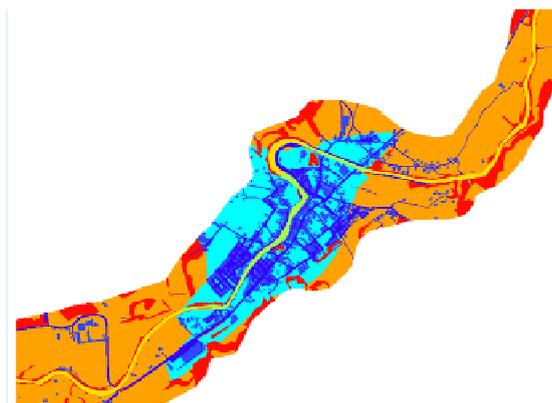


Figura 4. Grid de rugosidad.

La calibración y modelización definitiva resultó un proceso muy largo ya que este proceso se realizó comprobando los datos recogidos en la encuesta, campo, fotos y videos de eventos recientes (2007, 2009, 2011), junto con el análisis de otros estudios.

Este proceso necesitó de mayor duración y trabajo de lo previsto inicialmente debido a los problemas derivados de la cartografía. La siguiente tabla muestra las correcciones del MDT realizadas mediante mediciones in situ y otras fuentes más el n° de simulaciones necesarias hasta conseguir un resultado calibrado.



Figura 5. Calibración hidráulica. Nº de MDT generados y simulaciones hidráulicas realizadas.

Finalmente se obtuvieron los raster de niveles, calados y velocidades



Figura 5. Raster de calados y velocidades.

Para la determinación de los caudales característicos se realizó previamente una tramificación de los cauces según las masas de agua, ARPSIS, criterios hidrológicos y afecciones. Fueron identificados y clasificados los elementos vulnerables obtenidos del catastro, BCN 25, Corine, SIOSE y clasificados según el nivel que otorgarían al caudal que les afectara Q2 y Q3. De esta manera, por tramos se definieron los valores de los caudales que causan daños tipo Q2 y Q3.

Se realizó un análisis específico de la capacidad de los puentes y obras de drenaje.

Por último se estudió la peligrosidad según RD 903/2010 así como la zonificación definida en dicho RD: DPH, Zona de Graves Daños, VID y ZFP.

3.7.- Análisis de riesgos

El análisis de riesgos se realizó según diversos criterios pero todos con la misma información de usos del suelo o elementos vulnerables. Estos son: criterios POT (Plan de Ordenación Territorial de Navarra), según directriz Básica de Protección Civil y según RD903/2010 (criterios del borrador de la Propuesta de Evaluación de MAGRAMA).

El análisis de la vulnerabilidad territorial y valoración de la misma se ha realizado según la clasificación de estudios previos realizados por el Gobierno de Navarra (97 categorías) y según la Directiva Europea de Inundaciones 2007/60/CE y criterios del borrador de la propuesta de Evaluación MAGRAMA.

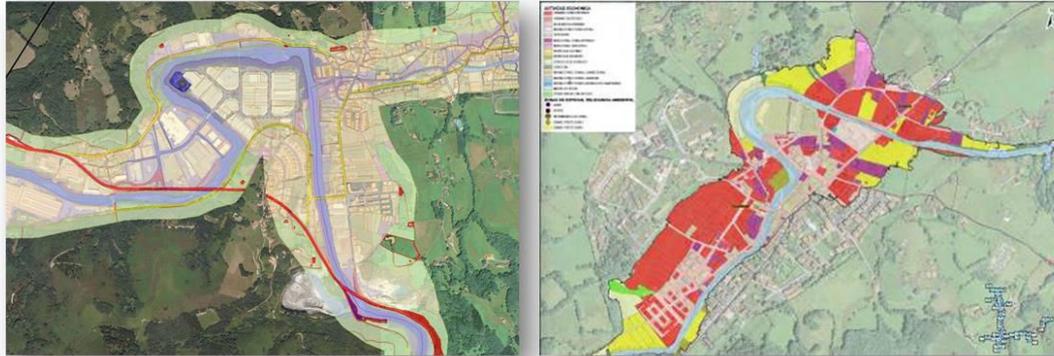


Figura 6. Análisis territorial y raster de riesgos para periodo de retorno de 500 años.

3.8.- Plan de gestión

Se definieron medidas tipo vinculadas a todos los programas definidos en el RD RD903/2010. Estas medidas se analizaron previamente en gabinete, se comprobaron en campo, se replantearon y en el caso de las estructurales, se simuló de nuevo los modelos hidráulicos hasta la su definición técnica y socialmente asumible. Posteriormente se realizó un análisis coste –eficacia por término municipal aplicando los criterios del borrador de la Propuesta del MAGRAMA.

Las principales medidas planteadas son nuevos puntos de control hidrológico, análisis de los tiempos de concentración y recorrido de la onda, establecimiento de umbrales para avisos, vigilancia de barras, eliminación y rebaje de azudes, normas de explotación en situaciones extraordinarias para la presa de San Tiburcio, mejora del drenaje trasversal, recrecimiento de taludes de carreteras, señalización, muros de protección de forma puntual, mejora de encauzamientos, un encauzamiento nuevo, análisis de accesibilidad vial, planes de emergencia municipales, mallas de triple torsión, mejora de la resiliencia urbana, ordenación del territorio según riesgos POT Navarra y formación-información. Se establece un nivel de prioridad de implementación

4.- Resultados

Los resultados obtenidos han sido representados en los planos, GIS, bases de datos, documentos, etc necesarios para cumplir los objetivos.

5.- Consideraciones Finales

La ventaja de realizar un estudio integral de una cuenca sin ceñirse a las ARPSIS y con alcance nacional-autonómico-local, hidráulico, ordenación del territorio y Protección Civil es la mejor identificación de la causa y el efecto del problema de las inundaciones y mejor planteamiento de medidas y reconocimiento de su eficiencia. La desventaja principal es el tiempo, incompatible con los plazos del RD 903/2010 a escala nacional.

La calibración hidrológica se pudo realizar para 3 episodios, de distinta índole y bastantes más datos de lo habitual, siendo uno de los puntos fuertes del estudio. Se ha analizado la influencia del hietograma en los resultados finales y se han comparado los resultados del estudio unidimensional previo y bidimensional. Los resultados de ambos son coherentes según sus hipótesis de cálculo, la ventaja del bidimensional es que elimina muchas de las incertidumbres

inducidas por una discretización del terreno en perfiles, aporta resultados de la distribución de velocidades más cercanos a la realidad además de las consabidas ventajas en zonas urbanas y planas como son las llanuras aluviales.

La influencia de la cartografía: las ventajas del LiDAR son indiscutibles pero este debe responder a unos estándares de calidad en el entorno de los cauces. En caso contrario no cubre las necesidades hidráulicas en breaklines y llanuras de inundación añadiendo de nuevo incertidumbres y la necesidad de realizar una exhaustiva calibración de los modelos hidrológico e hidráulicos para acotarlas. En este punto ha resultado esencial la información aportada por la encuesta y trabajo de campo.

La cuenca del río Bidasoa se caracteriza por una orografía de elevadas pendientes donde los únicos terrenos significativamente llanos, de pendientes menores al 3%, se concentran en los fondos de valle del río y regatas principales. Estas zonas llanas en casi su totalidad corresponden a la llanura fluvial. Por este motivo la población, los servicios y las infraestructuras se concentran en dichas zonas

Las medidas más eficaces por hacer se centran en las futuras ordenaciones urbanas considerando los criterios del Gobierno de Navarra, los sistemas SAT SAD SAIH, algún punto más de control, umbrales específicos de aviso por lluvia y las medidas de resiliencia para edificaciones, cascos urbanos y viales teniendo en cuenta las estructuras supervivientes.

Referencias

MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE Y MEDIO RURAL Y MARINO 2010, *Real Decreto 903/2010, de evaluación y gestión de riesgos de inundación.*

Comunidad Foral de Navarra, 2011, *Criterios de zonificación de riesgos según los planes de ordenación territorial de Navarra (POT).*

MAGRAMA, ET AL, 2013, *Propuesta de mínimos para la metodología de realización de los mapas de riesgo de inundación*

Agencia Catalana del Agua, 2008, *PROTOCOLO: "Repercussió del costos dels espais fluvials.*

EXCIMAP , 2007, *Handbook on good practices for flood mapping in Europe.*

FEMA, USA 2001, *GUÍA 2: Understanding your risks: identifying hazards and estimating losses*

Demarcación del Cantábrico Oriental (2012), *Borrador de Proyecto de Plan Hidrológico.*

Comunidad Foral de Navarra, 2011, *Plan Especial de Emergencias ante el riesgo de inundaciones.*