

## LA DINÁMICA DE LAS INUNDACIONES EN EL NOROESTE DE LA PENÍNSULA IBÉRICA: EL CASO DE BETANZOS (A CORUÑA, ESPAÑA)

Alexandre Luis VÁZQUEZ-RODRÍGUEZ

Universidad de Santiago de Compostela

alexandre.luis.vazquez@rai.usc.es / sonxandre.luis@gmail.com

### Abstract

Floods are the natural phenomenon with a greater number of social and economic losses in a short period of time. Galicia, with hundreds of channels, and with a favourable climate for them to be maintained, presents this problem a large part of the rivers. Where there is water, there is a human settlement, which means that the vicinity of the rivers of this land are always populated. In the Mandeo and Mendo's interfluvium is located the historical town of Betanzos, urban core that experiences these phenomena annually. Compiling historical data, and information of the current media, it has been seen that, throughout its existence, this town has experimented, and experiences, several episodes, both by the floods of the river and by the dynamics of the tides of the Atlantic Ocean. This article presents, through the current situation of the floods in the village, this northwest of the Iberian Peninsula current problem.

**Keywords:** Betanzos, floods, tide, northwest of the Iberian Peninsula, river

### Resumen

Las inundaciones son el fenómeno natural con un mayor número de pérdidas sociales y económicas en un breve período de tiempo. Galicia, con cientos de cauces, y un clima propicio para que estos se mantengan, presenta esta problemática en el entorno de gran parte de los ríos. Allí donde hay agua, existe un asentamiento humano, con lo que las inmediaciones de los ríos de esta tierra siempre están pobladas. En el interfluvio de los ríos Mandeo y Mendo, se ubica la villa histórica de Betanzos, núcleo que experimenta estos fenómenos anualmente. Recopilando datos históricos, y de los medios actuales, se ha visto que, a lo largo de su existencia, esta villa ha experimentado, y experimenta, varios episodios, tanto por las crecidas del río como por la dinámica de las mareas del océano Atlántico. En el presente artículo se expone, a través de la situación de la villa respecto a las inundaciones, esta problemática actual del noroeste de la Península Ibérica.

**Palabras clave:** Betanzos, inundaciones, marea, noroeste de la Península Ibérica, río

## 1. Introducción

Una inundación es el proceso natural por el cual el flujo de agua río rebosa el cauce de un río. La mayoría de las inundaciones de un río está relacionada con la cantidad y distribución de precipitaciones en la cuenca de drenaje, la velocidad a la que las precipitaciones empapan el suelo y la rapidez con que la escorrentía superficial de dichas precipitaciones llega al río (Keller, E.; Bloodgett, R., 2007). Todos los ríos presentan irregularidades que dan lugar a pequeñas inundaciones frecuentes, ocasionales avenidas y escasas inundaciones extraordinarias, pero todas pueden ocasionar pérdidas humanas y económicas (Vázquez-Rodríguez, 2016).

Todo territorio que se articule ante un espacio fluvial antropizado es un espacio con riesgo de inundación. Si un evento natural no afecta al ser humano, no se consideraría la existencia de riesgo, por la ausencia de elementos expuestos (Olcina, 2006). Los episodios de inundación están controlados por tres factores principales: atmosféricos, que aportan la precipitación abundante; geográficos (relieve, características geomorfológicas), que favorecen el desarrollo de las crecidas; y antrópicos, que aumentan la vulnerabilidad y exposición ante los desbordamientos de los ríos (usos del suelo) (Olcina, 2006). Existen varios tipos de inundaciones, con diferentes clasificaciones según su origen. Se agruparían en:

- **Inundaciones asociadas a los ríos**, o fluviales, producidas cuando el río recibe un volumen de agua (en forma de precipitación o nieve) que hace que su crecida no se pueda sostener, saliendo esta de su cauce (Keller, E.; Bloodgett, R., 2007).
- **Flash floods**, o torrenciales, cuando el volumen de agua crece súbitamente debido a unas precipitaciones de carácter torrencial (propias de climas mediterráneos, semiáridos o áridos) o al derretimiento súbito de nieve existente (Keller, E.; Bloodgett, R., 2007).
- **Costeras**, consecuencia de las subidas de marea, cuando el mar llega tierra adentro u originadas por una tormenta el mar, cuando este experimenta una subida anormal de la marea por encima de su subida astronómica regular máxima debido al viento, al oleaje y a la baja presión de una tormenta (NSSL, 2016).
- **Asociadas al deshielo**, originadas por el aporte de agua que causa el deshielo de la nieve (o del glaciar si procede) primaveral (Singh, P.; Singh, V.P., 2001).
- **Urbanas**, cuando los sistemas de drenaje antrópicos no pueden evacuar toda el agua recibida de las precipitaciones o de la crecida del río. Las originadas exclusivamente a la falta de evacuación de precipitaciones también se denominan pluviales (FEMA, 2016).
- **Originadas por una ruptura de presa o de diques**, bien porque la cantidad de agua recibida es mayor a la capacidad de esta o bien por un fallo en el diseño o construcción, la cual liberaría un gran volumen en cuestión de minutos, dando lugar a un escenario catastrófico y de exclusivo origen antrópico (FEMA, 2016).
- **Inundaciones por ruptura de suelo**. Las inundaciones pueden ser resultado de diferentes fallas del terreno. La subsidencia puede causar inundaciones en las inmediaciones de esta ruptura de suelo. Es un tipo de ruptura que puede bajar la superficie de este causando inundaciones en áreas con grandes reservas de agua

subterránea, así como que, al descender la superficie del suelo, esta puede ser inundada más frecuentemente (FEMA, 2016).

En Betanzos, se dan episodios frecuentes, principalmente originados por la subida de la marea o por la cantidad de precipitaciones recibidas en la zona, las cuales hacen que los ríos se desborden. Se han empleado las series de datos disponibles de los organismos oficiales, el método racional modificado (Témez, 1978; Ferrer, 1993), método oficial para la estimación de inundaciones en España, los sistemas de información geográfica (SIG) y software de modelación hidrológica para exponer este problema, así como la dimensión de este.

### 1.1. Área de estudio

Galicia es la región ubicada en el noroeste de la Península Ibérica entre los 43° 47' N y los 41°49' N, y entre los 6°42' W y los 9°18' W. Es una de las 17 comunidades autónomas, entidad administrativa usada para la organización territorial, de España. Limita con las autonomías de Asturias y Castilla y León al este y al sur con Portugal. Presenta un relieve variado, desde las rías costeras hasta una llanura central, regada por los cientos de ríos de la región, con pequeñas sierras occidentales (Serra do Barbanza, Serra do Suido) y las mayores al este (Serra dos Ancares, Serra do Courel) las cuales conforman la sección occidental de la Cordillera Cantábrica (Rodríguez Martínez-Conde, 2001) (Fig. 1).

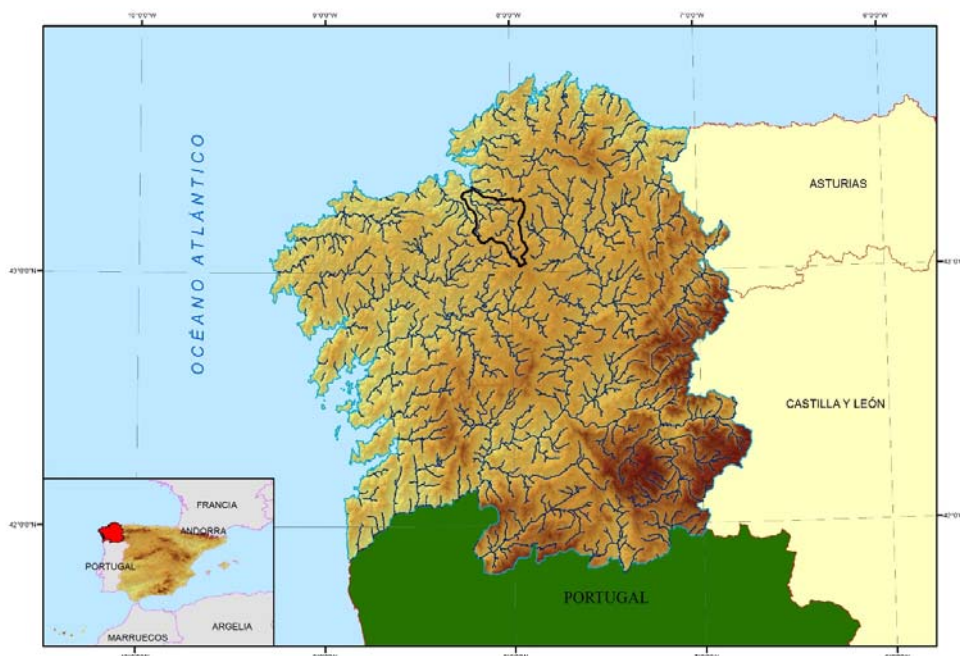


Figura 1. Ubicación de Galicia y de la cuenca del río Mandeo (en negro). Fuente: Elaboración propia. MDT cedido por el *United States Geological Survey* (USGS)

La cuenca del río Mandeo se ubica en el norte de Galicia, entre los 43° 20' N y los 43° 0' N y de los 8° 15' W a los 7° 55' W (Fig. 1). Su área es de 482 km<sup>2</sup>. Aunque tenga el nombre del río principal, estamos ante una cuenca con un sistema bifluvial: el río Mendo y el río Mandeo, siendo el primero afluente del segundo. El río Mendo tiene una longitud de 24, 15 km, se ubica en la sección oeste de la cuenca, desembocando en el río Mandeo, en Betanzos. El río Mandeo tiene 57 km de longitud y circula por la parte central de la cuenca, siendo el río principal y desembocando en el Océano Atlántico por la ría de Betanzos.

Dentro de la cuenca existen 3 agrupaciones de materiales geológicos diferenciados: al oeste, extensas franjas de ortogneis y esquisto, en el centro, el Macizo granítico de Espenuca; y al este, una mezcla de macizos graníticos, pizarras y gneises. El sector central presenta la mayor permeabilidad, mientras que este y oeste son materiales impermeables (Xunta de Galicia, 2016).

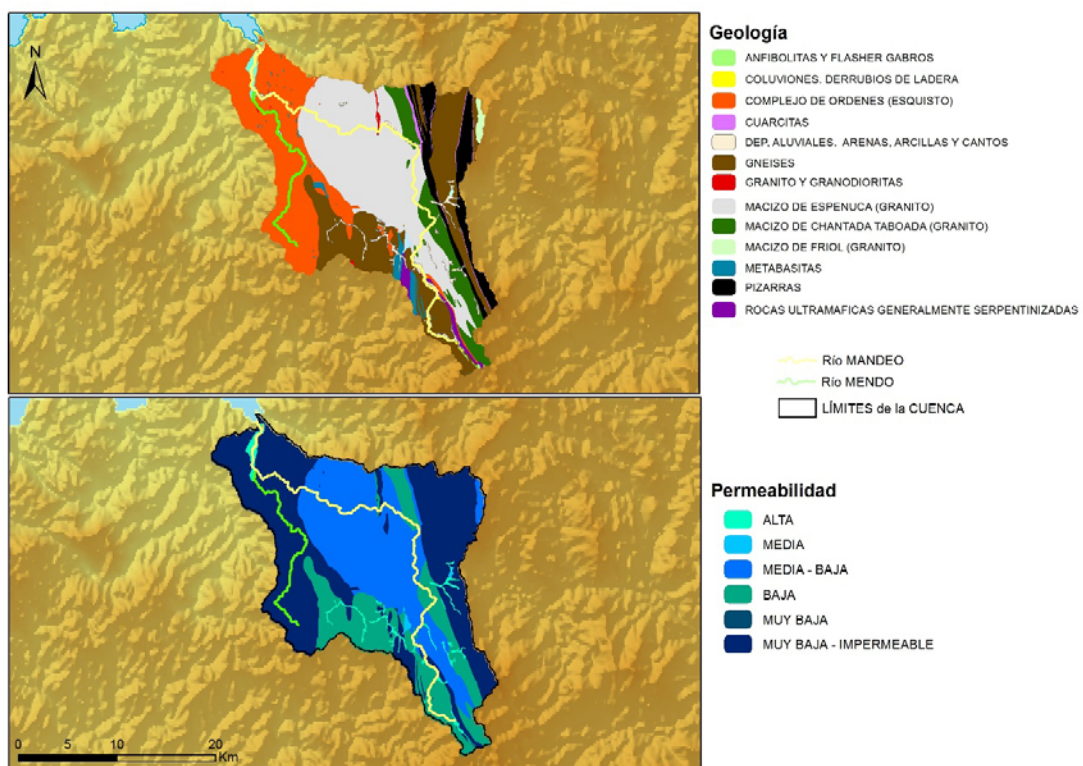
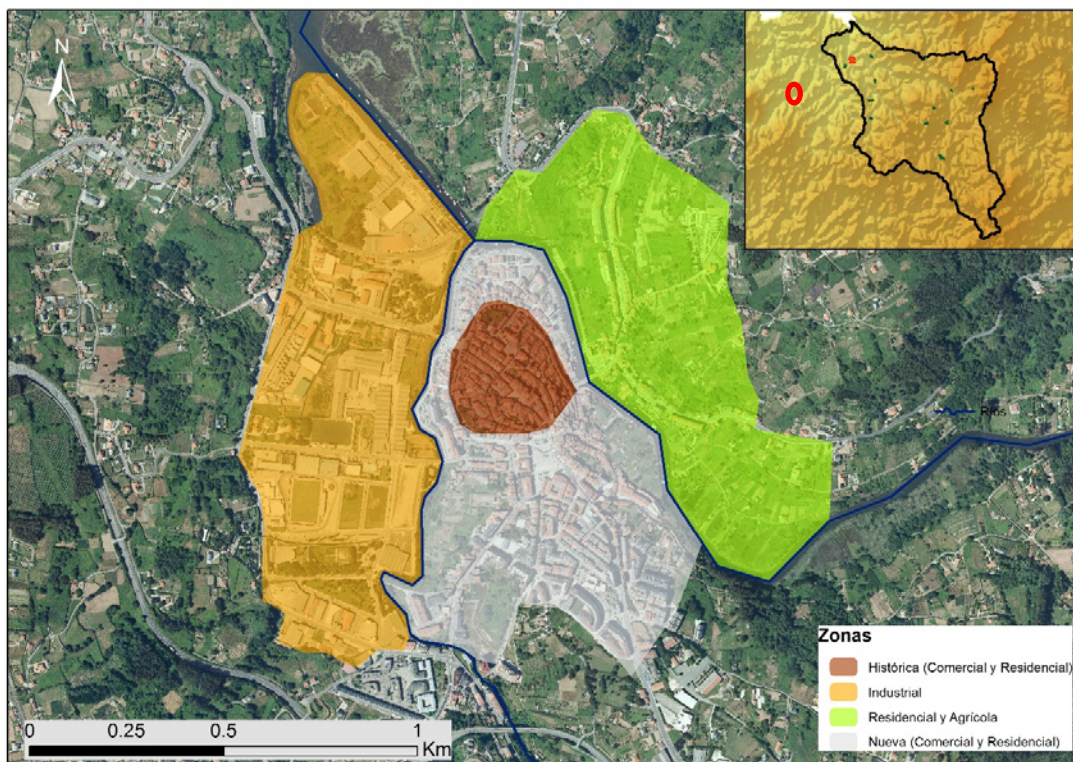


Figura 2 Geología y permeabilidad de la cuenca del río Mandeo. Fuente: Modificado de Xunta de Galicia

En el área existen varios asentamientos, siendo el principal Betanzos. La villa de Betanzos se ubica en la sección norte de la cuenca, en la confluencia de los Mandeo y Mendo, con una población de 13158 habitantes (INE, 2015). Es un asentamiento que data del s. XIII (1219), Edad Media, ubicado sobre

el antiguo castro de Untia (García Moreno, V.; Avellanosa, T., 2003). El origen de la villa se situaría en la cima del castro, la cual se ampliaría respetando la orografía de este, hasta mediados del s. XIX y comienzos del s. XX, momento en el que se produce su expansión fuera del recinto medieval (Municipio de Betanzos, 2016). En la distribución de la villa se distinguen tres zonas: la zona oeste, industrial, la zona este, residencial, con un parque y algunos cultivos; y la zona central, subdividida entre la zona histórica, en la parte alta de la villa, y la zona nueva, en el entorno de esta (Fig. 3), ambas comerciales y residenciales.



La altitud del núcleo va desde la altura mínima de los ríos, ascendiendo hacia el sur, sobre un pequeño cordón montañoso que separa los valles de ambos ríos, cuyo punto más elevado está en los 170 m, estando el punto más elevado de la villa entorno a los 40 m. La pendiente está entre el 0% y el 20%, estando la más elevada entre la zona nueva y el casco histórico (Fig. 4).

El clima es oceánico, la ubicación geográfica del asentamiento, próxima al océano Atlántico, hace que reciba todas las borrascas originadas en él, y que los eventos extraordinarios, como las ciclogénesis, tengan incidencia en este. Las precipitaciones máximas se registran en los meses de noviembre, diciembre y enero (Martínez Cortizas; Pérez Alberti, 1999). Debido a la influencia de los ríos, la

temperatura es algo inferior respecto a otras zonas similares. Las temperaturas mínimas oscilan entre valores negativos y los 4° C, mientras que las máximas alcanzan los 24° C y la media se sitúa en los 12° C (Meteogalicia, 2016). Las precipitaciones llegan a los 1200 mm anuales (Meteogalicia, 2016) (Fig. 5).

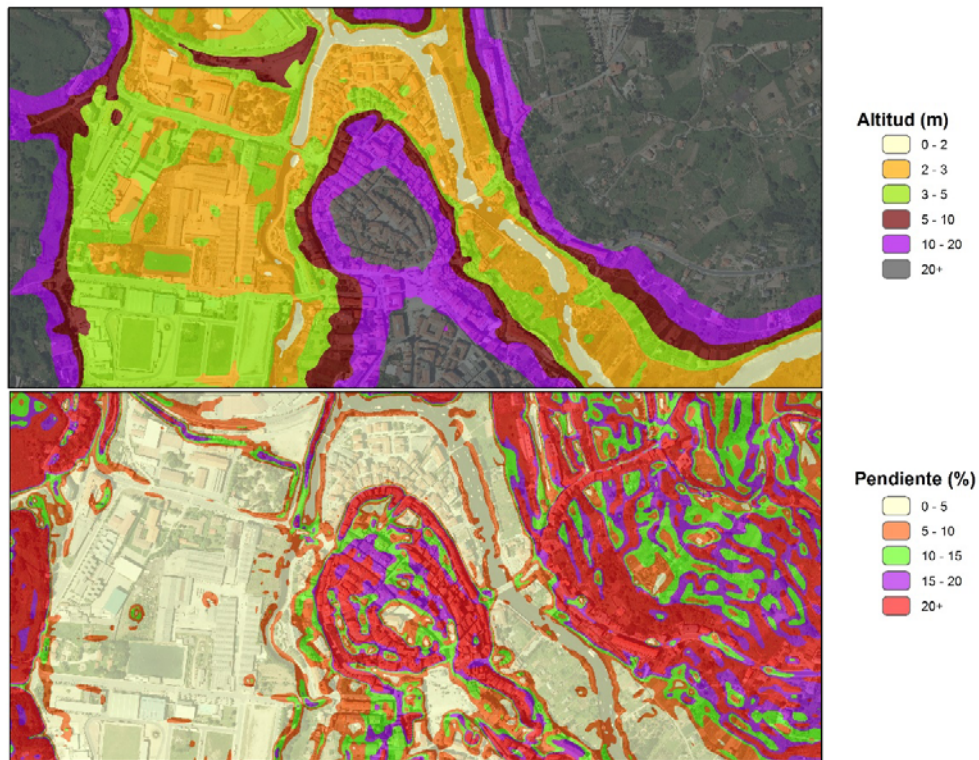


Figura 4. Elevación y pendiente de Betanzos. Fuente: Elaboración propia. PNOA cedido por el Instituto Geográfico Nacional

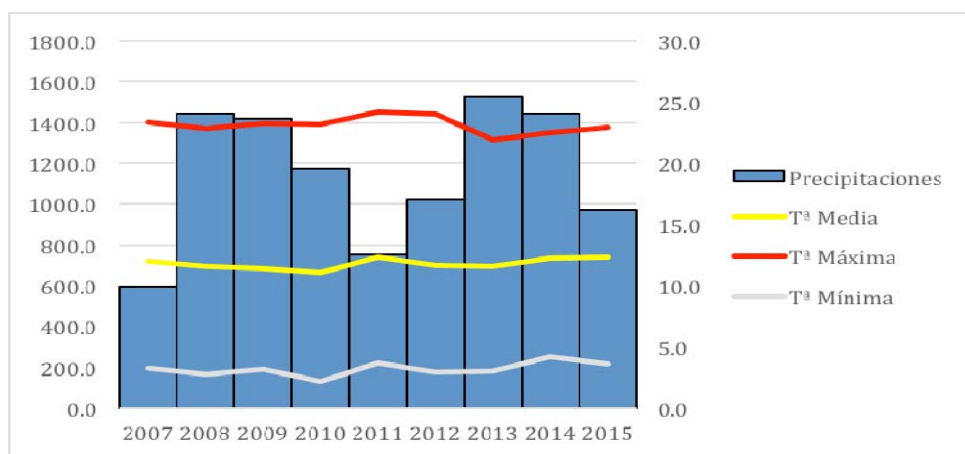


Figura 5. Climograma de Betanzos 2007 – 2015. Fuente: Elaboración propia

## 1.2. Antecedentes de inundaciones

Como ya se ha dicho en el apartado anterior, el caso histórico de Betanzos data del s. XII y está ubicado en el asentamiento de un antiguo castro, respetando la topografía de este. A principios del siglo XX comienza su expansión fuera del recinto medieval. Antes de esa fase solo existe el registro de una inundación en 1584, afectando a un tramo de una vía de comunicación (Protección Civil, 2014). A partir de la construcción en las inmediaciones de los ríos, en la parte norte de la zona nueva (Fig. 3), comienzan a existir estos problemas. Existen registros contemporáneos catalogados desde 1960 (nota de prensa en la Revista Vida Gallega, nº 754), siendo una noticia reiterada en la prensa gallega en las últimas décadas y recogidas en la base de datos de inundaciones de Protección Civil (hasta 2010). Haciendo un seguimiento de ambos medios desde el año 2000, las inundaciones en Betanzos han sido noticia o han sido registradas en diversas ocasiones, siendo la última referencia de octubre de 2016 ([La opinión A Coruña](#), 28/10/2016). Estos diarios, y esta base de datos, hacen referencia a inundaciones de carácter costero, fluvial o urbano. Se han cartografiado los puntos extraídos de la prensa, siendo alguno de ellos la representación de varias inundaciones por darse este suceso reiteradamente en el mismo lugar.



Figura 6. Inundaciones registradas entre 2000 y 2016 basada en las noticias de los diarios *La Voz de Galicia* y *La Opinión* y la base de datos de inundaciones creada por Protección Civil. En el círculo rojo el área afectada en un mayor número de ocasiones. Ortofoto cortesía del Instituto Geográfico Nacional.

Como se aprecia en la figura 6, la zona más afectada por las inundaciones es el noreste de la villa (zona nueva), principalmente en la calle situada a la orilla izquierda del río Mandeo, el Paseo del Malecón, a la que los medios suelen referirse por su nombre o por el nombre de su distrito, el malecón de *A Ribeira* (La Opinión de A Coruña, 2015).

#### 1.4. Situación actual de la gestión de inundaciones

La gestión de inundaciones es una competencia de carácter autonómico (2ª unidad en la jerarquía de la administración territorial, tras la figura del Estado) dentro de España. El Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente está realizando un Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables (SNCZI), en el que recoge las cartografías elaboradas por las diferentes comunidades autónomas. Este proyecto comenzó en el año 2011 y actualmente sigue en desarrollo. Ofrece una serie de tramos de ríos denominados “áreas de riesgo potencialmente significativo”, en el que figuran partes de los cauces del río en las que puede darse una inundación, y la extensión de las zonas inundables (fig. 6) correspondientes a períodos de retorno (tiempo medio entre dos inundaciones de igual alcance) (Elías et al., 1979) de 10, 50, 100 y 500 años para inundaciones de origen fluvial y para períodos de 100 y 500 años en el caso de las de origen mareal. No obstante, este proyecto dista de estar terminado y existen áreas sin esta información.



Figura 7. Muestra de las zonas inundables según las instituciones oficiales. En naranja las áreas inundables correspondientes a una inundación costera a un período de retorno de 100 años. En rosa las áreas inundables correspondientes a una inundación fluvial a un período de retorno de 50 años. Fuente: SNCZI, Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio ambiente



En la figura 7 se aprecia que para la zona de estudio sí que existe la cartografía oficial, tanto para inundaciones costeras como para inundaciones fluviales. En la zona más afectada, según periódicos y protección civil (fig.6), tendrían problemas indiferentemente del origen del fenómeno.

Para buscar estos datos se emplean las demarcaciones hidrográficas, en las que se agrupan las cuencas de ríos y afluentes. En Galicia existen dos: La demarcación Miño – Sil y la demarcación Galicia costa, en la que se ubica la cuenca del río Mandeo. La demarcación Galicia Costa es el conjunto de zona terrestre y marina compuesta por una o varias cuencas hidrográficas vecinas y las aguas de transición, subterráneas y costeras asociadas a dichas cuencas (CEDEX, 2016), que abarca todas las cuencas hidrológicas gallegas excepto la del río Miño y la del río Sil, las cuales están en la demarcación propia homónima. Para la primera existe el borrador del Plan de gestión de riesgo ambiental de inundación de Galicia costa 2015 – 2021, a modo de memoria descriptiva de cómo elaborar la cartografía y los planes de protección civil relacionados, creado en 2011. Estos planes de protección civil incluyen los protocolos a seguir en caso de que uno de estos eventos ocurriera: el establecimiento de actuaciones prioritarias, el plan de evacuación de la población o las indicaciones para cortar el acceso a las zonas afectadas, serían parte de las instrucciones recogidas en ellos.

## **2. Objetivos, materiales y metodología**

El objetivo de este texto es dar a conocer el estado actual de un problema destacado en el Noroeste de la Península Ibérica, tomando la villa de Betanzos como ejemplo. Cualquier núcleo urbano asentado a las orillas de un río (solo en Galicia, unos miles) o en el fondo de una ría, puede experimentar inundaciones como las de Betanzos. Se ha escogido esta villa como ejemplo por la periodicidad anual en la que experimentan estos fenómenos. De igual modo el método aquí empleado sería válido para cualquier localidad similar del Noroeste de la Península Ibérica, e incluso, para otras partes de esta.

Para dar a conocer las inundaciones del Noroeste de Iberia se realizará una cartografía de zonas inundables en detalle de Betanzos, con la que se dará a conocer cómo afectan las inundaciones en esta parte de la península. Delimitar las zonas inundables de una zona, y relacionarlas con los caudales y los períodos de retorno que les correspondan, es obligatorio para una buena planificación que contemple las inundaciones ya que sintetiza el conjunto de conocimientos hidrológicos, geomorfológicos e hidráulicos de la superficie inundable y lleva intrínseca una valoración del nivel de riesgo (Mateu, 1989).

### **2.1. Materiales empleados**

Para realizar el presente trabajo se han recogido los datos necesarios de las instituciones oficiales españolas. Se han empleado los siguientes:

- Del Instituto Geográfico Nacional se han obtenido los **datos LIDAR**, con una resolución de 2 m, del área de estudio. Con ellos se ha elaborado un Modelo Digital del Terreno para obtener otras variables, como la altitud o la pendiente de la zona. De esta misma entidad se han tomado **ortofotos** para una percepción del impacto sobre el territorio más ajustada a la realidad y para emplearlas como cartografía base a la hora de presentar los resultados.
- De *Meteogalicia*, agencia autonómica gallega de meteorología, se han obtenido los **datos de precipitación** de los últimos años de las tres estaciones meteorológicas cercanas, Sada, Guísamo y *Marco da Curra* (fig.8), para ver cuanta precipitación hubo los días en el que asentamiento tuvo inundaciones, así como en días anteriores para tener una idea de la posible cantidad de agua acumulada en los suelos del lugar.
- De la *European Environment Agency*, organismo medioambiental de la Unión Europea, se ha descargado la capa de **usos del suelo Corine Land Cover 2012**, para extraer unos valores necesarios para calcular nuevas variables, como los **coeficientes de Manning** o de rugosidad (Chow, 1959), coeficientes obligatorios para la estimación de áreas inundables.
- De Puertos del Estado, las referencias de nivel del mar del mareógrafo de Coruña, el más próximo a Betanzos, dónde se recoge la altura de este y la **altitud alcanzada por la marea**, en una situación normal; cuando se da algún fenómeno astronómico (como las mareas vivas, entre otros), denominada marea astronómica; y la máxima alcanzada cuando sucede un fenómeno atmosférico extraordinario, como los temporales.

Para procesar estos materiales se han empleado el sistema de información geográfica ArcGIS 10.1, así como el programa de modelado hidrológico HecRAS 5.0.3. y la herramienta HecGeoRAS 10.1 la cual transfiere los datos de un software a otro.

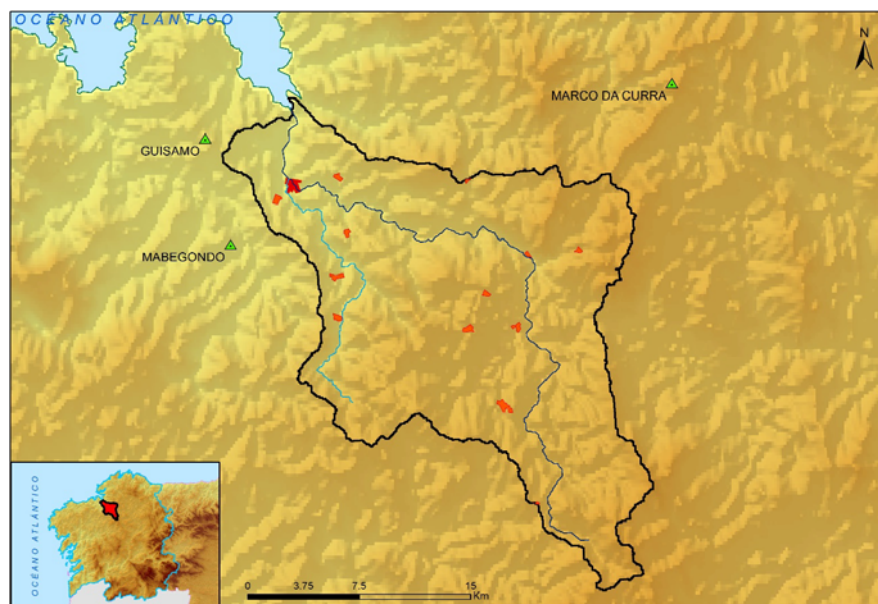


Figura 8 - Ubicación de las estaciones meteorológicas. Fuente: Elaboración propia

## 2.2. Metodología

Debido a su complejidad la elaboración de la cartografía de zonas inundables se divide en 5 fases (IGME, 2009):

- **Recopilación de documentación.** La búsqueda y análisis exhaustivo de información documental relacionada con episodios de inundación históricos aporta un marco sobre la geografía humana y ambiental en relación con el medio fluvial (IGME, 2009). Entre las distintas fuentes de información documental destacan las fuentes cartográficas, las fotos aéreas, los periódicos y los documentos históricos (en caso de haberlos). Las entrevistas a las personas afectadas por eventos anteriores también son una fuente de información que se debe considerar.
- **Análisis geomorfológico.** Las evidencias de la dinámica fluvial, y de la dinámica costera, se manifiestan en el territorio mediante formas y materiales cuya medición, y origen, aporta información básica sobre el comportamiento de las corrientes superficiales. Entre las formas de mayor interés caben destacar los diques, los conos de deyección, los canales distribuidores de agua (por donde circula el agua en escorrentía cuando llueve), las marismas (o formaciones similares) y las zonas con mucha erosión y sedimentación, de las que pueden derivar otros fenómenos ligados a estas dinámicas (IGME, 2009).
- **Análisis hidrológico.** El análisis hidrológico es la compilación de los datos necesarios para estimar los caudales pico de las inundaciones, máximo caudal generado por la escorrentía (Chow, 1994). Estos datos son las precipitaciones, los usos del suelo, la geología y la permeabilidad de los materiales de la zona de estudio. Este análisis se realiza en inundaciones de tipo fluvial.
- **Análisis hidráulico.** El análisis hidráulico permite estimar principalmente la profundidad y la velocidad de una corriente a partir de información topográfica, hidrológica y de resistencia al flujo de agua, como consecuencia de la fricción de éste con los elementos del terreno, tales como la vegetación. Existen 2 grupos de modelación hidráulica, unidimensionales y bidimensionales (IGME, 2009), siendo este el aplicado en el trabajo. Son modelos que contemplan las dos direcciones de flujo sobre un plano horizontal, de tal modo que corrientes más complejas sean fácilmente cuantificadas. Conllevan mucho tiempo de cálculo y exigen una gran cantidad de información de partida, realizándose los controles de calidad más en los datos de partida que en el propio modelo.
- **Ensayo e integración metodológica.** Estos métodos deben aplicarse de forma integrada, siempre que lo permita la disponibilidad de fuentes de información que requiere cada uno de ellos (IGME, 2009), es decir, se han de realizar de manera combinada. Los datos obtenidos de los diferentes análisis son diferentes, pero todos son necesarios para la elaboración de una cartografía de zonas inundables. La combinación de ellos genera esta cartografía.

Tras obtener los datos de la recopilación de documentación y del análisis geomorfológico, con la aportación del trabajo de campo, se procede al análisis hidrológico.

### 2.2.1. Análisis hidrológico

Tras la obtención de los datos necesarios (los usos del suelo las precipitaciones, entre otros) el procedimiento a seguir para hacer un análisis hidrológico es el método racional (Tabla I) de Témez (1978), modificado por Ferrer (1993), por tratarse de un método hidrometeorológico que tiene en cuenta los factores principales que intervienen en los caudales de crecida, datos que se obtienen al aplicarlo, siendo el método de referencia en España. Se han calculado los caudales pico para los períodos de retorno, el tiempo medio entre dos inundaciones de igual alcance, de referencia en el cálculo de avenidas (Tabla II): 25 años, que representaría las inundaciones frecuentes, 50 años, inundaciones ocasionales de mayor intensidad y 100 años, inundaciones extraordinarias con una gran intensidad. A mayores se ha incluido el caudal para un período de 5 años (Tabla II), por tratarse de un intervalo de tiempo más cercano al ser humano que los anteriores.

Tabla I. Método racional. Variables y fórmulas

Variable	Fórmula	Donde
Cálculo de la precipitación máxima diaria para distintos períodos de retorno	$X_t = I^T \cdot Y_t$	$X_t$ (mm/día) = Volumen de precipitación máxima diaria para un período de retorno $t$ $I^T$ (mm/día) = Precipitación media $Y_t$ = Cuantil regional
Número de curva, precipitación umbral y precipitación umbral corregida	$I_p^0 = \frac{5000}{NC - 50}$ $I_p^c = I_p^0 \cdot r$	$P_0$ (mm) = Precipitación umbral $I_p^c$ (mm) = Precipitación umbral corregida $NC$ = Número de curva $r$ = Factor regional
Tiempo de concentración de la cuenca	$T_c = 0,3 \cdot \left( \frac{l}{j} \right)^{0,76}$	$T_c$ (horas) = Tiempo de concentración $l$ (m) = Longitud del río $j$ (m/m) = Desnivel del río
Coefficiente de simultaneidad	$K_A = 1 - \frac{\log S}{15}$	$K_A$ = Coeficiente de simultaneidad $S$ (Km <sup>2</sup> ) = Superficie de la

	$I_{t}^{m} = K_{d} \cdot X_{t}$	<p>cuenca</p> <p><math>I_{t}^{m}</math> (mm) = Precipitación diaria corregida para una duración D (equivalente a un período de retorno t)</p> <p><math>X_{t}</math> (mm/día) = Precipitación máxima diaria para un período de retorno T</p>
Coefficiente de escorrentía	$C = (I_{t}^{m} - I_{t}^{u}) \cdot \frac{I_{t}^{m} + 23 \cdot I_{t}^{u}}{(I_{t}^{m} + 11 \cdot I_{t}^{u})^2}$	<p>C = Coeficiente de escorrentía</p> <p><math>I_{t}^{m}</math> (mm) = Precipitación diaria corregida para una duración D (equivalente a un período de retorno T)</p> <p><math>I_{t}^{u}</math> (mm) = Precipitación umbral corregida</p>
Intensidad de las precipitaciones	$I_D = \frac{I_{t}^{m}}{24 \cdot \left(\frac{t}{T}\right)^{2.25} \cdot 10^{0.05}}$	<p><math>I_D</math> (mm/h) = Intensidad máxima de las precipitaciones para un evento de duración D (en el método racional equivalente al tiempo de concentración de la cuenca)</p> <p><math>I_{t}^{m}</math> (mm) = Precipitación diaria corregida para los diferentes períodos de retorno</p> <p><math>\frac{t}{24}</math> (mm/h) = Relación intensidad horaria y diaria</p>
Caudal pico	$Q_p = \frac{C \cdot I \cdot S}{3.6} \cdot K$	<p><math>Q_p</math> (m<sup>3</sup>/s) = Caudal pico</p> <p>C = Coeficiente de escorrentía</p> <p>I = Intensidad de las precipitaciones</p> <p>S = Área de la cuenca</p> <p>K = Coeficiente corrector</p>

Fuente: Témez (1978) y Ferrer (1993)

Tabla II. Valores del caudal pico para los diferentes periodos de retorno. Ríos Mandeo y Mendo

Río/Periodo de retorno	años	25 años (m <sup>3</sup> /s)	50 años (m <sup>3</sup> /s)	100 años (m <sup>3</sup> /s)
Mandeo	2.93	67.0	83.3	105.1
Mendo	8.05	57.0	70.8	87

Fuente: Elaboración propia

En el caso de las inundaciones costeras, también se compilan los datos necesarios, pero no existe un método como para las fluviales, ya que no hay que calcular el caudal de ningún río. El material obtenido en este caso se emplea en el siguiente paso, realizar el análisis hidráulico, teniendo cada tipo de inundación el suyo.

### 2.2.2. Análisis hidráulico

El procedimiento para realizar el análisis hidráulico de las inundaciones es distinto según el tipo que se trate. Tras compilar la información necesaria en los apartados anteriores, se realiza un análisis para las inundaciones fluviales y otro para las costeras.

- **Análisis de las inundaciones fluviales:** Con los datos de caudal pico adquiridos mediante el método racional se puede estimar las zonas inundables entorno al río. Para esto se introduce la información topográfica, hidrológica y de resistencia al flujo de agua en un sistema de información geográfica, ArcGIS 10, para convertirla en el formato del programa de modelación, HecRAS 5.0.3. Con el material necesario en este formato, el software establece el alcance de las zonas inundables derivadas del río. Finalmente, se traslada la información de nuevo al sistema de información geográfica, que, junto al resto de materiales, darán lugar a la cartografía de las zonas inundables derivadas de la dinámica fluvial de los ríos.
- **Análisis de las inundaciones costeras:** Para realizar este análisis se emplean los materiales compilados en las fases anteriores y los datos del mareógrafo de Coruña, seleccionado por proximidad geográfica, la altitud del medidor y los niveles alcanzados por las mareas en situación normal y durante eventos extraordinarios, como los temporales o ciclogénesis (PUERTOS, 2014), los cuales se introducen en ArcGIS 10, y tras unos cálculos operados por el programa, se delimitan las zonas inundables de las inundaciones costeras.

Finalmente se integraría la información recogida en las fases anteriores dentro del sistema de información geográfica, dando lugar a la cartografía de zonas inundables de Betanzos.

No obstante, en la prensa analizada durante la recopilación de documentación, también era noticia otro tipo de inundación, las inundaciones urbanas, derivadas de los fallos de los sistemas de drenaje existentes. Está inundación no se cartografía, de hecho, no se contempla en la cartografía estatal oficial, debido a la dificultad que presenta tanto por la cantidad de entradas y salidas de un sistema de drenaje a lo largo de cualquier asentamiento urbano, como por la posibilidad de que cualquiera de ellas falle, estando estrechamente ligada al mantenimiento de las estructuras existentes (Bertoni, 2004).

### 3. Resultado: La cartografía de las zonas inundables

La combinación de las zonas inundables derivadas de las inundaciones fluviales (fig. 9) y de las inundaciones costeras (fig. 10), da lugar a la cartografía de las zonas inundables de Betanzos.

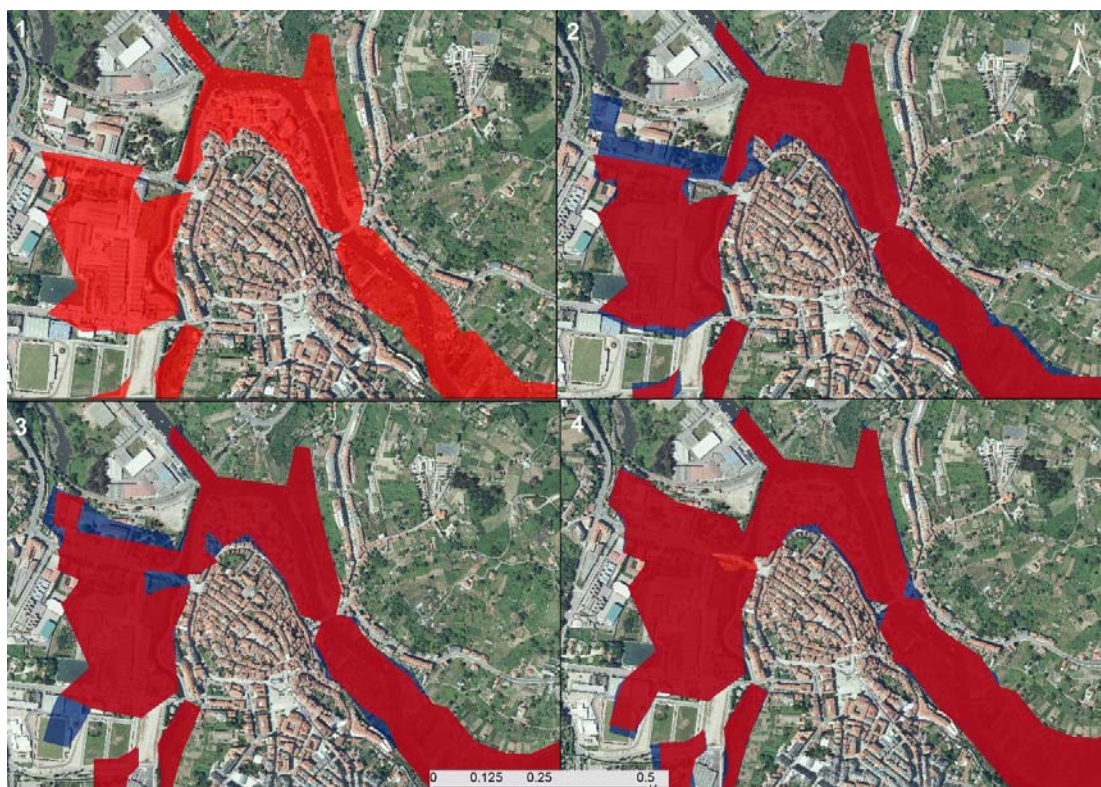


Figura 9 - Zonas inundables en caso de inundación fluvial para diferentes períodos de retorno. 1. 5 años. 2. En rojo 5 años, en azul 25 años. 3. En rojo 25 años, en azul 50 años. 4. En rojo 50 años, en azul 100 años. Fuente: Elaboración propia. Ortofoto cortesía del Instituto Geográfico Nacional.

En la figura 9 se aprecian las zonas inundables para cada período de retorno trabajado, así como se compara cada área con la del período de retorno anterior, para ver cómo sería la evolución de las

inundaciones, en función del caudal pico que tuviese. Las zonas inundables abarcan las instalaciones a las inmediaciones de ambos ríos. Así la parte norte y la parte este de la zona nueva y la zona oeste de la villa, donde se ubican los polígonos industriales (véase distribución de Betanzos en figura 3) serían las zonas del núcleo afectadas por los fenómenos de este tipo.

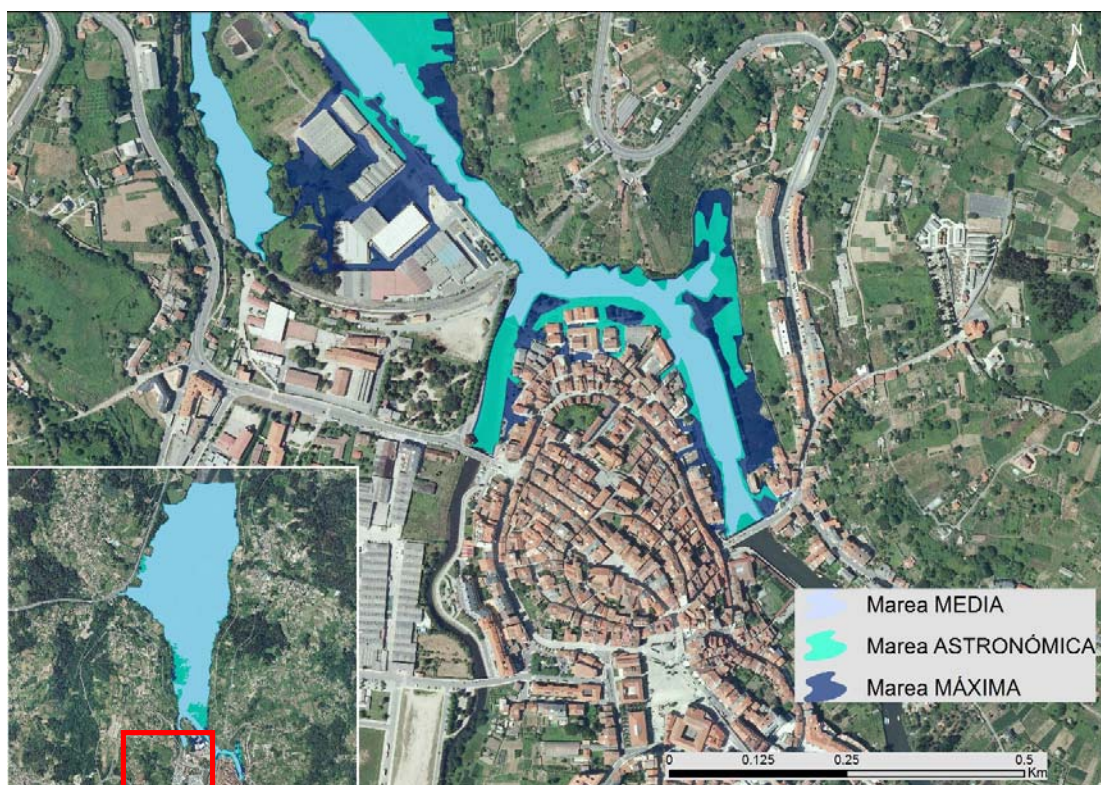


Figura 10 - Zonas inundables en caso de inundación costera. Fuente: Elaboración propia. Ortofoto cortesía del Instituto Geográfico Nacional.

En la figura 10 se contempla que el impacto de las inundaciones costeras se concentraría en la parte norte de la zona industrial, en el norte de la nueva y en el noreste, zona residencial y agrícola (véase distribución de Betanzos en figura 3). En la prensa analizada, este tipo de evento es el que más se repite a lo largo de los años, con una periodicidad anual.

En las figuras anteriores (9 y 10) se observa que las inundaciones, sean del tipo que sean, afectan a zonas pobladas de la villa de Betanzos. Existe un escenario en el análisis de estos fenómenos, cuando sucede un temporal o una ciclogénesis explosiva, en el que se combinen fluviales y costeras, debido, por un lado, al viento, que contribuye a aumentar el alcance de la marea y por otro lado a las abundantes precipitaciones que traen consigo, que contribuyen a que crezca el caudal de los ríos, con lo que las inundaciones podrían expandirse por las zonas delimitadas por ambos tipos.



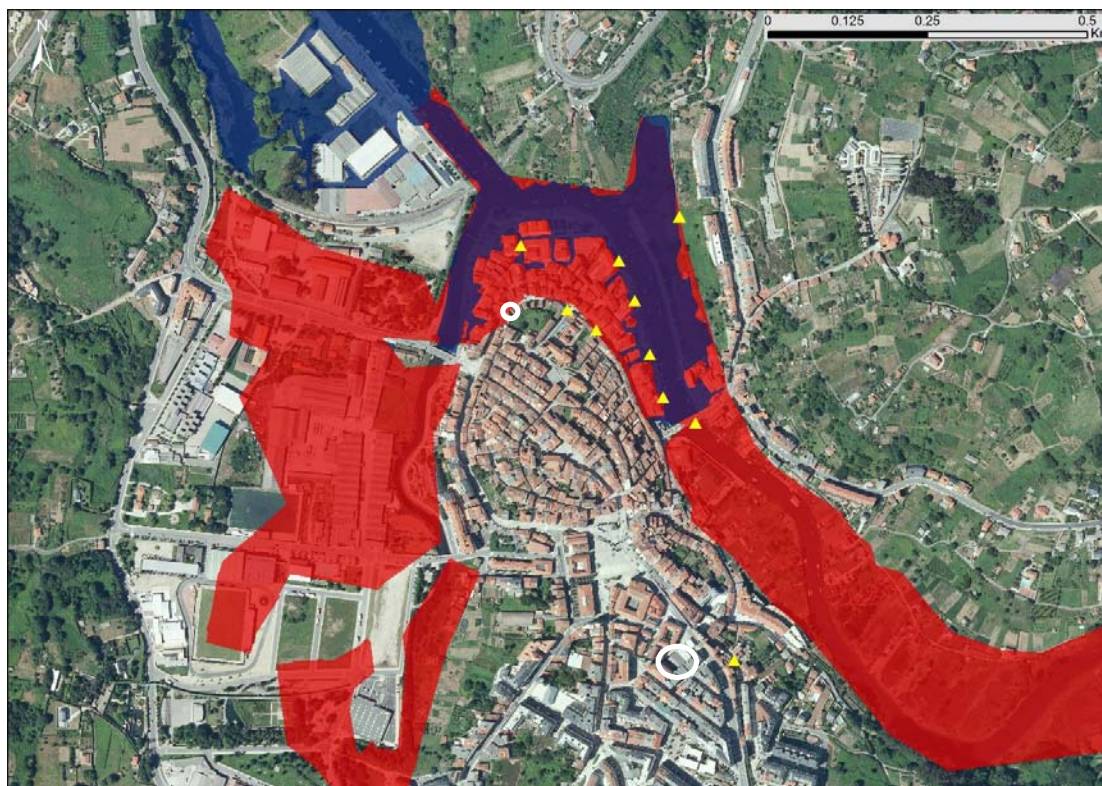


Figura 11 - Zonas inundables para un período de retorno de 100 años (rojo) y para la marea máxima (azul). En amarillo la ubicación de los eventos recogidos en la prensa. Los rodeados por un círculo blanco corresponden a otro tipo de inundaciones. Fuente: Elaboración propia. Ortofoto cortesía del Instituto Geográfico Nacional.

En la figura 11 se aprecia la distribución de las inundaciones según su génesis. Así, toda inundación en la parte oeste y en la parte sudeste de Betanzos sería de origen fluvial. Las inundaciones costeras alcanzarían la zona noroeste de la villa, así como el norte y el noreste de esta, puntos donde se combinan las zonas inundables de ambos tipos. También se observan los puntos en los que se dieron estos eventos, recogidos de la prensa. Como se ve, la mayoría de ellos pueden corresponder a cualquiera de las causas, aunque según las noticias analizadas, la causa principal es la marea. Existen 2 puntos (véase círculos blancos en la figura 11) en los que se registró una inundación no relacionada con estas causas, si no que su origen corresponde a fallos en el sistema de alcantarillado del núcleo.

### 3.1. El tercer tipo de inundaciones: las urbanas

Aparte de las inundaciones fluviales y costeras de Betanzos, cualquier núcleo urbano (esta villa incluida) que tenga un sistema de drenaje del agua puede experimentar uno de estos fenómenos por culpa de un fallo en él. Todo sistema de evacuación requiere un mantenimiento, si este se descuida, la probabilidad de que falle aumenta (Bertoni, 2004). Al urbanizar un territorio el suelo pierde

permeabilización, capacidad para absorber el agua y a reducir la cantidad de esta en superficie. Para contrarrestar este hecho están los sistemas de drenaje, como los alcantarillados. Estos van absorbiendo el agua recibida, almacenándolo bajo la ciudad, para finalmente trasladarla y devolverla poco a poco al río, o al océano. No obstante, tiene una capacidad límite, que en ocasiones puede verse superada, resultando en la emisión de agua a la superficie, pudiendo causar inundaciones. Para calcular este tipo de eventos no existe un modelo como en el anterior. En este caso el papel el trabajo de campo, junto a la revisión de prensa diaria para obtener información ha sido el método empleado. Se han revisado dónde se ubican los sistemas de drenaje (fig. 12), en qué estado se encuentran estos (no es lo mismo un drenaje limpio y sin obstrucciones que uno con ellas), recogido testimonios de la gente, en el caso de recordar algún evento sucedido y buscado en diversos medios referencias a ellos.

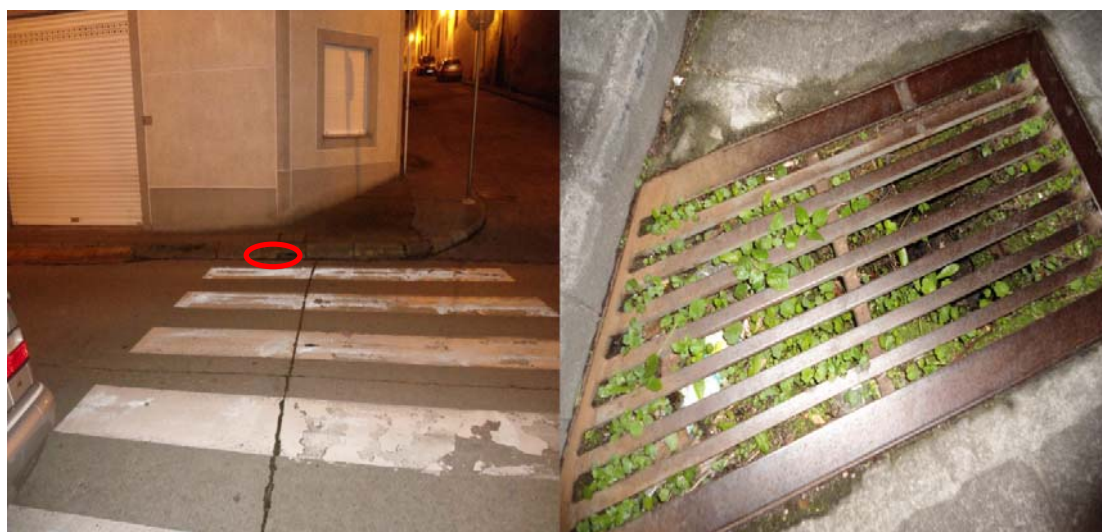


Figura 12 - Ejemplo de sistemas de drenaje en Betanzos. El de la derecha no presenta mantenimiento, con lo que su capacidad de retirada del agua estará mermada. Fuente: Propia

En los días con intensos episodios de lluvia es importante que el alcantarillado de los núcleos esté preparado para absorber y trasladar grandes cantidades de agua y más en la zona de estudio, que presenta grandes pendientes (superiores al 20%, véase figura 4), entre la zona más alta (e histórica) y la zona más baja (parte de la zona nueva), por la pendiente puede descender las precipitaciones en forma de escorrentía. Una gran cantidad de escorrentía puede generar una inundación, si no se drena correctamente. Para vaciar la parte baja existen puntos de drenaje en las calles (fig. 12) en los cuales se debe tener el mantenimiento actualizado, ya que, si estos fallasen, como así ha sido según la prensa

analizada, las casas y locales comerciales de las calles se verían afectados por las inundaciones, con todos los daños económicos que ello conlleva.

### 3.2. Comparación con las fuentes oficiales

Disponiendo de una cartografía de las zonas inundables detallada se puede comparar con la oficial para detectar diferencias y similitudes. A pesar de que no coinciden todos los períodos de retorno entre ambas cartografías, se puede realizar la comparativa por la existencia de los comunes, como el período de retorno de 50 años (fig. 13), que se usará para comparar las zonas inundables fluviales. En el caso de las inundaciones costeras, las zonas para un período de retorno de 100 años es el equivalente a las de la marea máxima de la cartografía propia.

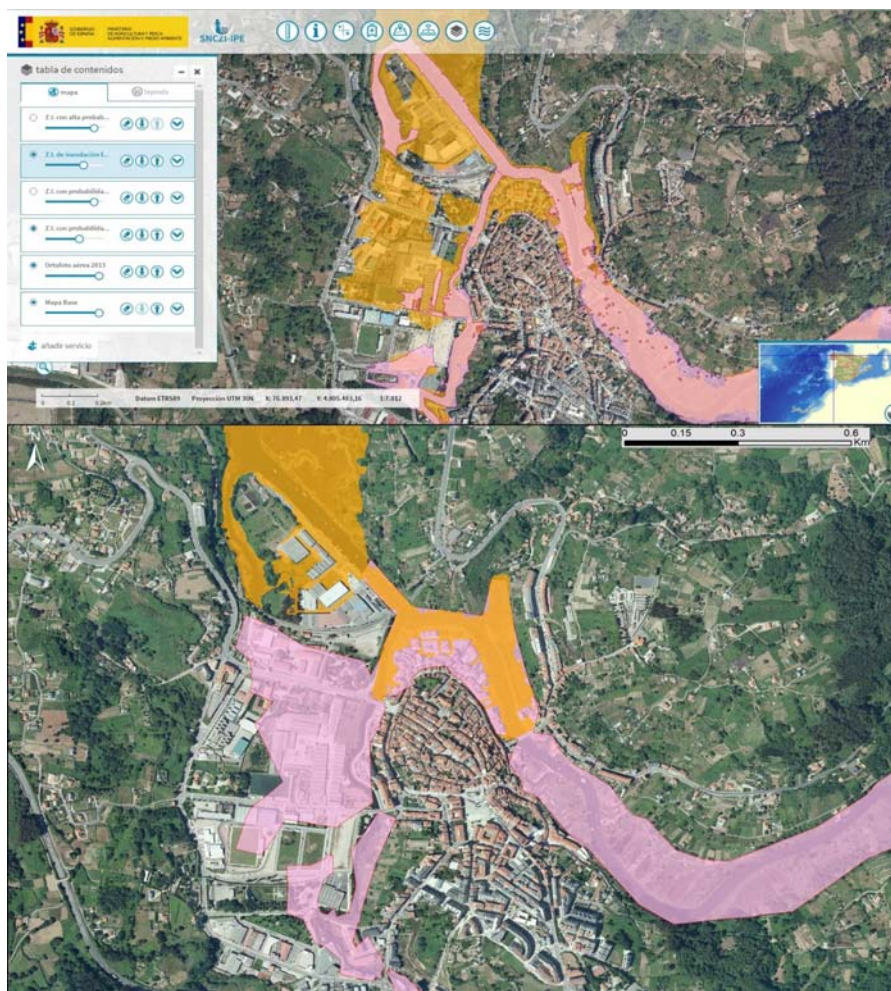


Figura 13 - Comparativa entre la cartografía oficial y la cartografía resultante de este trabajo. En naranja, zonas inundables costeras para la marea máxima. En rosa, zona inundable fluvial para un período de retorno de 50 años. Fuente: SNCZI, Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio ambiente y Elaboración propia.

Existen varias similitudes y diferencias entre ambas cartografías. Como similitud, en la figura 13 se aprecia que ambos mapas cubren zonas similares, presentando la elaborada, áreas mayores. La principal diferencia está en el origen de las inundaciones que cubren estas zonas similares, es decir, las zonas inundables fluviales del mapa oficial son las zonas inundables costeras del mapa elaborado, y viceversa. Lo mismo ocurre con las áreas de los eventos fluviales.

- En el caso de las zonas inundables originadas por la marea, se observa que las áreas en el norte y en el noroeste de la villa coinciden, siendo algo más amplias las de la oficial (fig. 13). En el oeste y sudeste de la villa solo el mapa del ministerio presenta áreas, y es que en el trabajo actual se ha contemplado que los puentes de Betanzos actúan como diques de contención de la marea, con lo que serían el límite del alcance de esta, y no los atravesaría.
- En el caso de los eventos fluviales, las áreas coinciden (fig. 13), pero las oficiales son mucho menores que las creadas en el trabajo, salvo en el noroeste, donde la delimitación del área de estudio corta el mapa. Según el Ministerio, los efectos de un aumento de caudal de los ríos en el caso de una avenida correspondiente a un período de retorno de 50 años, serían escasos, concentrándose en una zona puntual del polígono industrial, mientras que en la cartografía elaborada estos serían bastante perjudiciales, incluso más que cuando penetra la marea.

Estas diferencias, sobre todo en el tamaño de las áreas inundables, pueden deberse a diversas causas: Desde los materiales empleados para crearlas (modelos digitales con diferente resolución), hasta los programas empleados en el proceso (distintos sistemas de información geográfica presentan diferente precisión), pasando por la cantidad de controles de calidad que se hayan realizado en los datos iniciales y en los resultados, siendo la cantidad de estos importante. Cualquier cartografía puede presentar errores que deben de ser subsanados, ya que los materiales de origen los tienen, y si no se tratan, estos se van acumulando con otros y se acarrean a lo largo del proceso, viéndose también en los resultados.

#### **4. Conclusiones**

Betanzos, y el noroeste de la Península Ibérica en general, experimenta inundaciones. El clima existente, en el que abundan las precipitaciones, el estar rodeado totalmente por el océano Atlántico y sus dinámicas, la gran cantidad de asentamientos existentes en la costa y entorno al cauce de los ríos, así como la ordenación territorial en estos, son factores que influyen en que ocurran estos fenómenos. Dentro del propio núcleo existen zonas no afectadas por estos eventos, a pesar de su ubicación, así, el caso histórico, construido en su día siguiendo el relieve del castro de Untía, no sufre inundaciones naturales de ningún tipo, debido a su altitud y a las pendientes que existen para acceder a él. La pendiente es un obstáculo para el ascenso del agua, con lo que las crecidas de los ríos no llegan a él.

Solo existe un registro de una inundación en el s. XVI, cuando Betanzos solo era la zona antigua. A partir de la construcción de la zona nueva, descendiendo desde la cima del castro hasta los ríos, es cuando aparecen registros de una manera más habitual, siendo la zona afectada la recién construida. Esto puede ser un indicador o no, ya que no siempre se dispone de información de desastres naturales en el pasado, con lo que no se puede calibrar cuantos sucesos experimento la zona vieja de la villa, pero puede denotar que cuando se comenzó a construir el núcleo del asentamiento, lo construyeron siguiendo el castro por su ubicación, quizás para evitar problemas derivados de la crecida de los ríos, entre otras motivaciones.

Debido al régimen de precipitaciones del clima oceánico y a la cantidad de ríos existentes en el noroeste de la Península Ibérica, las causas principales de las inundaciones es la cantidad de lluvia recibida (con la ayuda de una importante cantidad de suelos compuestos por materiales impermeables) y a la dinámica de la marea atlántica, junto a él gran número de población que reside entorno a los ríos y en la costa de esta área. Así pues, el análisis de estos fenómenos en Betanzos, indica que existen 2 tipos de inundaciones principales: inundaciones fluviales e inundaciones costeras. Por otra parte, también se pueden dar inundaciones derivadas de un fallo en los sistemas de drenaje, hecho no exclusivo del noroeste de la Península Ibérica, si no aplicable a cualquier lugar habitado que cuente con estos. El mantenimiento de estas infraestructuras es importante, y más si en al lugar en el que están instalados llegan grandes cantidades de lluvia. En el caso de Betanzos, una inundación urbana, derivada de la ruptura del alcantarillado solo ha ocurrido en un par de ocasiones desde el año 2000 frente a la mayor frecuencia que tienen los principales tipos de inundaciones.

La cartografía oficial, y la elaborada en este trabajo, nos indican que las áreas afectadas por ambos géneros de inundaciones son similares, hasta el extremo de darse en un lugar en concreto una inundación costera un año y al siguiente verse afectado el mismo lugar por otro evento, pero en este caso fluvial. Ambos mapas presentan diferencias de construcción y de forma, pero apuntan una tendencia de cuáles son las zonas más afectadas por estos fenómenos. El control de calidad de los datos que se van a utilizar y de los resultados es muy importante, ya que si no se le presta la atención suficiente y llevan consigo algún tipo de error, este se amplifica y se ve en los resultados, como aparentemente sucede en el mapa del ministerio.

A nivel de efectos reales de estos fenómenos, los inconvenientes que generan son problemas de comunicación, de logística y de desabastecimiento, así como el cierre temporal de negocios, en el caso de las empresas (pérdidas económicas, el tiempo no trabajado en horario comercial hace que las empresas pierdan dinero). A todo esto, hay que sumarle los daños materiales en los bajos y garajes (en los coches alojados en él) de los edificios, y muertes humanas en el peor de los escenarios.

Las autoridades involucradas, como la Xunta de Galicia o el propio municipio, han presentado varias medidas, como la limpieza de la ría o el traslado de la población residente en la zona afectada a la zona histórica de la villa, así como la entrega de ayudas económicas para paliar los daños materiales

derivados de estos fenómenos. No obstante, la única que se realiza actualmente es esta última, la cual no contribuye a prevenir o mitigar los efectos de futuros sucesos. Se trata de una situación que dista de ser óptima para afrontar los desastres naturales. Si se aportasen los medios, el coste de las medidas preventivas siempre será menor que el de las pérdidas económicas que pueda ocasionar una inundación (Fra Paleo, 2011).

Opciones para afrontar estos eventos existen. El traslado de los negocios, y de la población a la zona vieja, como ya se ha mencionado, sería una de ellas, no obstante, esto conlleva una serie de problemas añadidos a resolver: los precios de los bajos de la zona vieja tienden a ser mayores, con lo que la rentabilidad de alguno de los negocios se podría ver comprometida. Aparte de la ubicación, no todo el mundo reside en la zona vieja, y no es una zona muy accesible a pie, no hay zonas exclusivamente peatonales para subir y la pendiente con la que habría que caminar para llegar es bastante elevada, lo que es un problema para la población anciana del núcleo, con lo que habría otra cuestión que solventar.

Otra opción sería aplicar efectivamente las líneas de actuación recogidas en las directrices existentes en el borrador del Plan de gestión del riesgo de inundación en la demarcación de Galicia - Costa 2015 – 2021, acciones que deben realizar el personal encargado en situaciones de emergencia (protección civil), pero que no siempre se llevan a término. Un aumento de personal podría ser clave para llevar mejor a cabo estos planes, así como la implementación de un sistema de alerta temprana, para poder adoptar medidas preventivas (evacuación de la población, corte del acceso a las zonas afectadas antes de que comience la inundación) antes de que suceda uno de estos eventos.

También se podrían adaptar los edificios ubicados en las zonas inundables, ya que se sabe dónde actuar gracias a los mapas. Un bajo vacío (o hueco para) que pase el agua junto a un aumento de los sistemas de drenaje, implicaría menos daños materiales. También se podría subir la entrada a los edificios, lo suficiente para que la lámina de agua no llegue a entrar, pero requeriría una gran inversión económica, debido al coste de modificar la estructura de los edificios y al gran número de estos.

Una ordenación del territorio con sentido común es clave. En futuros proyectos de edificación, no se debería edificar en estas zonas, o de hacerlo, construir edificios adaptados a estas situaciones. El suelo en estas zonas podría emplearse para parques o conjuntos de vegetación, ya que contribuyen a la mitigación de las crecidas de los ríos y no requerirían un gran gasto.

La problemática de las inundaciones es un hecho aún poco conocido, pero presente en la actualidad. Debido a la frecuencia anual de temporales en el noroeste de la Península Ibérica, estamos hablando de fenómenos anuales, que no deberían sorprender a nadie. Sabiendo que existen, que son reales, y teniendo la posibilidad de saber en qué lugares en concreto se pueden dar, el establecimiento de medidas para prevenir o mitigar sus efectos no debería ser complicado. Si las autoridades pertinentes trabajasen conjuntamente, y comenzase a poner en práctica medidas de prevención o de mitigación, los daños derivados de estos fenómenos se reducirían. No se trata de hacer desaparecer los efectos, ya que

el coste sería desorbitado, ni de cambiar las villas y ciudades actuales, ni trasladar a la población a otros enclaves, si no, sabiendo la situación actual de los núcleos afectados, realizar las actuaciones necesarias para prepararlos frente a futuros eventos, haciendo que estos sean menos perjudiciales y que la población pueda convivir con ellos.

## 5. Bibliografía

- Bertoni, J.C. (coord.). (2004). *Inundaciones Urbanas en Argentina*. Buenos Aires, Argentina: Universitat CEDEX. Centro de estudios y experimentación de obras públicas. [online]. Disponible em <http://hispagua.cedex.es/instituciones/demarcaciones> [Acedido el 2 de junio de 2016]
- Chow, V.T. (1959). *Open-channel hydraulics*. New York, EEUU: McGraw Hill.
- Chow, V.T.; Maidment, D.; Mays, L. (1994). *Hidrología aplicada*. Bogotá, Colombia: McGraw-Hill.
- Elías Castillo F.; Ruiz Beltrán L. (1979). *Precipitaciones máximas en España*. Madrid: Instituto Nacional para la Conservación de la Naturaleza (ICONA).
- Fema. Federal Emergency Management Agency. USA. [Online] Disponible em <http://training.fema.gov/hiedu/docs/fmc/chapter%20%20types%20of%20floods%20and%20floodplains.pdf> [Acedido el 28 de abril 2016]
- Fra Paleo, U (coord.). (2011). *Riesgos naturales en Galicia. El encuentro entre naturaleza y sociedad*. Santiago de Compostela: Universidade de Santiago de Compostela.
- Instituto Geológico Y Minero De España (IGME). *Metodología para la elaboración de cartografía de peligrosidad por avenidas e inundaciones*. [en línea] Madrid: Ministerio de Ciencia e Innovación, 2004 Disponible en: [http://info.igme.es/SIDIMAGENES/141000/722/141722\\_0000001.PDF](http://info.igme.es/SIDIMAGENES/141000/722/141722_0000001.PDF). [accedido en diciembre 2016].
- Instituto Nacional De Estadística (INE). *Datos de población de 2015* [en línea]. Madrid: Instituto Nacional de Estadística, 2015 [ Online] Disponible en: <http://www.ine.es>. [accedido en septiembre de 2016].
- Información Xeográfica De Galicia. Xunta de Galicia. <http://mapas.xunta.gal/visores/descargas/>. [Consultado el 30 de abril 2016].
- Ferrer, J. (1993). *Análisis estadístico de caudales de avenida*. Madrid: CEDEX.
- García Moreno, V. Avellanosa, T. (2003). *Los pueblos más bellos de España*. Madrid: Agualarga.
- Guía metodológica para el desarrollo del sistema nacional de zonas inundables*. Madrid: Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, 2011.
- Keller, E. A.; Bloodgett, R. H. (2007). *Natural hazards: Earths processes as hazards, disasters, and catastrophes*. New Jersey, EEUU: Pearson Prentice Hall.
- La Opinión De A Coruña. 28/10/2016. A Coruña, 2016.
- La Voz de Galicia. Silva, A. (2015). Nuevas inundaciones en Betanzos por tercer mes consecutivo [Online] A Coruña: La Voz de Galicia, 2015. Disponible en: <http://www.lavozdegalicia.es/noticia/coruna/2015/10/26/nuevas-inundaciones-betanzos-tercer-mes-consecutivo/0003> [accedido en septiembre de 2016]
- Martínez Cortizas, A.; Pérez Alberti, A. (coord.). (1999). *Atlas climático de Galicia*. Santiago de Compostela: Xunta de Galicia.

Mateu, J.F. (1990). *Crecidas e Inundaciones*. En Guía de la Naturaleza de la Comunidad Valenciana (pp. 565-608). Valencia: Comunidad Valenciana.

MeteoGalicia. Santiago de Compostela, Galicia, España. [www.meteogalicia.es](http://www.meteogalicia.es) [Acedido el 7 de abril de 2016]

Municipio de Betanzos, Betanzos, Galicia, España. [www.betanzos.net](http://www.betanzos.net) [Acedido el 6 de abril de 2016]

National Severe Storms Laboratory (NSSL). EEUU. *Severe Weather 101* [en línea] <http://www.nssl.noaa.gov/education/svrwx101/floods/types/> [Acedido el 28 de abril 2016]

Olcina Cantos, J. (2006). *¿Riesgos naturales? Sequías e inundaciones*. Colección Geoambiente XXI. Mataró: Editorial DaVinci.

*Plan de gestión del riesgo de inundación en la demarcación de Galicia - Costa 2015 – 2021*. Borrador. Santiago de Compostela: Xunta de Galicia, 2015.

Puertos del Estado (2015). *Datos históricos del mareógrafo de Coruña* [en línea]. Madrid: Ministerio de Fomento, 2015. Disponible en [www.puertos.es](http://www.puertos.es) [consultado en octubre de 2016]

Protección civil (2008). *Disaster Information Management System* [en línea]. Génova, Suiza: United Nations Office for Disaster Risk Reduction, 2008. Disponible en [www.desinventar.net](http://www.desinventar.net) [consultado en diciembre de 2016].

Revisa vida gallega, nº 754. (1960). Vigo: Editor desconocido.

Rodríguez Martínez-Conde, R. (2001) en Precedo Ledo, J.A., Sancho Comíns, J. (directores). *Atlas de Galicia*. Santiago de Compostela: Xunta de Galicia.

Singh, Pratap; Singh, Vijay P. (2001). *Snow and glacier hydrology*. Dordrecht, Países Bajos: Kluwer Academic Publishers.

Témez, J. R. (1978). *Cálculo Hidrometeorológico de caudales máximos en pequeñas cuencas naturales*. Madrid: Ministerio de Obras Públicas. Dirección general de carreteras.

Vázquez-Rodríguez, Alexandre Luis (2016). *SIG y realidad: Inundaciones en As Pontes de García Rodríguez (A Coruña)*. SÉMATA, revista de Humanidades y Ciencias sociales [En línea]. Vol. 27, pp. 69 – 94. Disponible en: <http://www.usc.es/revistas/index.php/semata/article/view/2448> [consultado en mayo de 2016]