

APLICACIÓN INTERNACIONAL DEL MÉTODO RACIONAL HIDROLÓGICO: ESTUDIO DE LAS INUNDACIONES EN LA REGIÃO DO NORTE DE PORTUGAL

Alexandre Luis VÁZQUEZ-RODRÍGUEZ
Universidade de Santiago de Compostela (USC)
alexandre.luis.vazquez@gmail.com

Abstract

Floods are the more common natural hazard and have a big capacity of create great social and economic losses in a short time. Spain, and other countries, have this problem in their territories. These can have different origins, being the rivers overflowing the more common cause. There are different approaches of these phenomena studies, and the Témez rational method is the reference one in the Spanish territory, which with the GIS and hydrological simulation programs can create the flooding areas cartography, key information for the establishment of any mitigation measure. But, is this method only valid for Spain, or is it applicable to other countries? The answer is that its adaptation to other countries it's possible, always that the relevant modifications are made.

In the Iberian Peninsula, Portugal it's a country with the flooding problem. Because this country has similar geological and geographical conditions to the west Spain, and the floods effects are similar in the Portuguese territories, the adaptation to this country it's relatively simple.

The aim of this work it's the study of the floods dynamics in Portugal, using the Témez rational method. This method will be applied in the Âncora river, in North Portugal region fluvial system, because the geological and geographical conditions are similar to the Spanish.

Keywords: Floods, Hydrological Rational Method, Portugal, GIS

Resumen

Las inundaciones son el desastre natural más frecuente y tienen una gran capacidad de causar daños y pérdidas socioeconómicas en un breve intervalo de tiempo. España, y otros países, experimentan estos eventos dentro de su territorio. Estos pueden tener diversos orígenes, siendo el desbordamiento de los ríos la causa más común. En el estudio de estos fenómenos existen diferentes aproximaciones, siendo el método racional de Témez el de referencia para su análisis dentro del estado español, el cual junto a los SIG y a los programas de modelización hidrológica, puede estimar las zonas inundables generadas por los cursos fluviales, información imprescindible para elaborar cualquier medida para su mitigación. Pero, ¿este método es sólo aplicable al caso de España, o, por el contrario, se puede trasladar a otros países? La respuesta es que, aunque fuese diseñado para dicho estado, su adaptación a otros territorios es viable, siempre y cuando se hagan las modificaciones necesarias.

Dentro de la Península Ibérica, Portugal también es un país que sufre inundaciones anualmente a lo largo de su territorio. Debido a que este país presenta unas condiciones geológicas y geográficas similares a las del oeste español, y a que los efectos de las inundaciones son similares, la adaptación del método racional en territorio portugués es relativamente sencilla.

El objetivo del presente trabajo es realizar un estudio de la dinámica de las inundaciones en Portugal, empleando y adaptando el método racional hidrológico. Para ello se analizará el río Âncora, de la red hidrográfica de la *Região Norte* de Portugal, debido a sus condiciones geológicas y geográficas, similares a las españolas.

Palabras clave: Inundaciones, Método Racional Hidrológico, Portugal, SIG

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 & Bloodgett, 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, 2015).

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 Cantos, 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 Cantos, 2006). Existen varios tipos de inundaciones, clasificadas 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 & Bloodgett, 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 (Keller & Bloodgett, 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 (The National Severe Storms Laboratory, 2016).
- **Asociadas al deshielo**, originadas por el aporte de agua que causa el deshielo de la nieve (o del glaciar si procede) primaveral (Singh & Singh, 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 (Federation Emergency Management Agency, 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 (Federation Emergency Management Agency, 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 (Federation Emergency Management Agency, 2016).

En la Península Ibérica, se dan episodios frecuentes, principalmente originados por la subida de la marea o por una gran cantidad de precipitaciones recibidas en un corto intervalo de tiempo, las cuales provocan 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; Ministerio de Fomento, 2016), método oficial para la estimación de inundaciones en España, con las modificaciones pertinentes para su empleo en Portugal, los sistemas de información geográfica (SIG) y software de modelación hidrológica para analizar si la aplicabilidad del método racional de Témez en otros países es viable.

2. Área de estudio

La *Região Norte* (Región Norte) de Portugal es una región estadística que abarca el norte de Portugal, la cual incluye los distritos de Viana do Castelo, Braga, Vila Real, Braganza, Porto y parte de los de Aveiro, Viseu y Guarda. Se ubica entre los 42°12'10" – 40°45'00" N y los 8°55'00" – 6°10'00" W, en el noroeste de la Península Ibérica, limitando al norte con la autonomía de Galicia (España) y al este con la autonomía de Castilla y León (España), al sur con la Região Centro portuguesa y al oeste con el océano Atlántico (fig. 1), con una superficie total de 21.278 km² de territorio y una población aproximada de 4.200.000 habitantes, lo que significa más de un tercio del total de los 10.309.573 habitantes del país (Instituto Nacional de Estatística, 2017). El núcleo principal se ubica a orillas de la desembocadura del río Duero, la ciudad de Porto, con 237.600 habitantes y con un área metropolitana de 2.459.000 habitantes aprox. (Instituto Nacional de Estatística, 2017), más de un tercio de la población portuguesa.

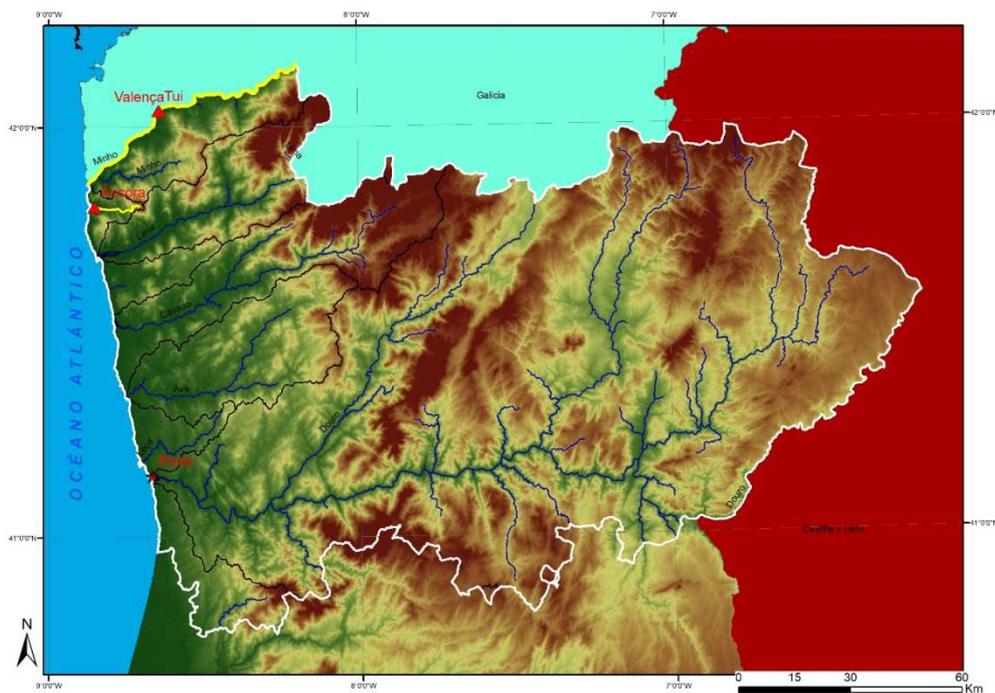


Figura 1- Área de estudio. Límite de las cuencas hidrográficas y de la región, así como los puntos de interés.
Fuente: Elaboración propia. MDT disponible en el USGS.

Geológicamente, esta región está compuesta por granitoides biotíticos y de dos micas (IGME, 2017) de diferentes eras, en la mayor parte de su extensión, existiendo gravas, arcillas, arenas y arcillas en la costa y en la desembocadura de los ríos (IGME, 2017). Su red hidrográfica está compuesta por más de 100 ríos, entre los que destacan el río Minho (Miño), el río Lima (Limia) y el río Doiro (Duro).

Debido a la limitación del método racional de que la cuenca del río no debe superar a los 200 km², para poder emplearlo en todo en el territorio, en España esto se solucionó mediante la división de las grandes cuencas en subcuencas, haciendo posible su uso en cualquiera de estas. Para el presente trabajo se han seleccionado dos áreas; una subcuenca del río Miño, la que abarca el límite entre Tui y Valença do Minho, de 21 km², y la cuenca del río Âncora, de 128 km², en el sector dónde se ubica la villa homónima.

3. Objetivo y Metodología: El método racional

El objetivo del presente trabajo es comprobar si el método racional de Témez es aplicable a otros países, lo que permitiría la creación de los mapas de zonas inundables de estos. Como cada estado tiene sus propias fuentes de información, se ha compilado toda la información requerida para aplicar este método en Portugal. Para ello se ha obtenida la información geológica del Mapa Geológico de la Península Ibérica (IGME, 2017), extraído el dato de las precipitaciones diarias con los mapas españoles más próximos (Ministerio de Fomento, 1999), ampliado los mapas del factor regional y de la relación I_1/I_d (índice de torrencialidad), elementos necesarios para el método. También se han obtenido las capas shapefile necesarias de los usos del suelo del proyecto Corne

Land Cover (Unión Europea, 2012), un modelo digital del terreno con una resolución de 30 m de Portugal del *United States Geological Survey* (USGS) y las capas de las cuencas y los ríos del territorio portugués del IGEO para su uso en los sistemas de información geográfica. Con todos estos materiales se puede proceder a la aplicación del método racional y a la creación de la cartografía de las zonas inundables de las áreas seleccionadas.

Se ha utilizado el método racional (Témez, 1978; Ferrer, 1993; Ministerio de Fomento, 2016) por tratarse de un método hidrometeorológico que tiene en cuenta los factores principales que intervienen en los caudales de crecida de los ríos. También se han calculado los elementos previos necesarios a las operaciones del método racional: el número de cuenca de ambos casos, la intensidad de las precipitaciones, el coeficiente de *Manning* para las riberas y para el canal del río (Chow, 1959), así como otros factores (Tabla I). El resultado serán los valores de caudales pico del río (en m³/s). Se calcula en diferentes períodos de tiempo, denominados períodos de retorno. Los períodos estándar de referencia son 25, 50 y 100 años, representando los 25 años inundaciones comunes, los 50 años una inundación mayor ocasional y los 100 años una avenida extraordinaria con un alcance superior a las otras.

Tabla 1. Fórmulas del método racional

Variable	Fórmula	Donde
Cálculo de la precipitación máxima diaria para distintos períodos de retorno	$X_t = \bar{P} \cdot Y_t$	X_t (mm/día) = Volumen de precipitación máxima diaria para un período de retorno t \bar{P} (mm/día) = Precipitación media Y_t = Cuantil regional
Número de curva, umbral de escorrentía y umbral escorrentía corregido	$P_o = \frac{5000}{NC - 50}$ $P'_o = P_o * b$	P_o (mm) = Umbral de escorrentía NC = Número de curva b = coeficiente corrector
Tiempo de concentración de la cuenca	$Tc = 0,3 \cdot \left(\frac{l}{j^{0,19}}\right)^{0,76}$	Tc (horas) = Tiempo de concentración l (m) = Longitud del río j (m/m) = Desnivel del río
Coficiente de simultaneidad	$K_A = 1 - \frac{\log S}{15}$ $P'_D = K_A \cdot X_t$	K_A = Coficiente de simultaneidad S (Km ²) = Superficie de la cuenca P'_D (mm) = Precipitación diaria corregida para una duración D (equivalente a un período de retorno t) X_t (mm/día) = Precipitación máxima diaria para un período de retorno T
Coficiente de escorrentía	$C = \frac{\left(\frac{P'_D \cdot K_A}{P_o} - 1\right) \cdot \left(\frac{P'_D \cdot K_A}{P_o} + 23\right)}{\left(\frac{P'_D \cdot K_A}{P_o} + 11\right)}$	C = Coficiente de escorrentía P_D (mm) = Precipitación diaria para una duración D (equivalente a un período de retorno T) K_A = Coficiente de simultaneidad P_o (mm) = Umbral de escorrentía
Intensidad de la precipitación	$I(T, t) = (Id) \cdot Fint$	$I(T, t)$ (mm/h) = Intensidad máxima de las precipitaciones para un período de retorno T y un evento de duración t Id (mm/h) = Intensidad media diaria de precipitación

		corregida correspondiente al período de retorno T (en el método racional equivalente al tiempo de concentración de la cuenca) Fint = Factor de intensidad Fa = Factor obtenido a partir del índice de torrencialidad (I1/I _d) I1/I _d = Índice de torrencialidad que expresa la relación entre la intensidad de precipitación horaria y la media diaria corregida K _b = Factor que tiene en cuenta la relación entre la intensidad máxima anual en un período de veinticuatro horas y la intensidad máxima anual diaria. En defecto de un cálculo específico se puede tomar K _b = 1.13
Factor de intensidad	$F_{int} = \max (Fa, Fb)$ $Fa = \left(\frac{I1}{I_d}\right)^{3.5287 - 2.5287t^{0.1}}$ $Fb = K_b \frac{I_{IDF}(T,tc)}{I_{IDF}(T,24)}$	
Intensidad de las precipitaciones	$I_D = \frac{P'_D \cdot K_A}{24}$	I _D (mm/h) = Intensidad media diaria de precipitación corregida correspondiente al período de retorno T (en el método racional equivalente al tiempo de concentración de la cuenca) P' _D (mm) = Precipitación diaria corregida para los diferentes períodos de retorno K _A = Coeficiente de simultaneidad
Caudal pico	$Qp = \frac{C \cdot I(T,tc) \cdot S}{3.6} * Kt$ $Kt = 1 + \frac{tc^{1.25}}{tc^{1.25} + 14}$	Q _p (m ³ /s) = Caudal pico C = Coeficiente de escorrentía I (T, T _c) = Intensidad de las precipitaciones S = Área de la cuenca K _t = Coeficiente de uniformidad

Fuente: Ministerio de Fomento de España, 2016

Una vez obtenido los valores de caudal pico necesarios, se han llevado estos datos al programa de modelización hidrológica HecRAS 5.0.3 para realizar la simulación de las inundaciones, y posteriormente se han llevado los resultados al sistema de información geográfica ArcGIS 10.1 para la creación de la cartografía de las zonas inundables.

4. Resultados

Se ha aplicado el método racional en dos sectores de dos ríos diferentes. Se han estimado los caudales pico para el río Miño a su paso por Tui y Valença do Minho, y para el río Âncora a su paso la villa homónima. Una vez hecho los cálculos pertinentes para ambos puntos de análisis, los valores obtenidos son los siguientes.

Tabla 2. Valores de caudal pico obtenidos para diferentes períodos de retorno para ambas secciones de estudio

Área	T25	T50	T100
Tui – Valença do Minho	29.1	37.7	48.03
Âncora	14	20.27	28.24

Fuente: Elaboración propia

Se han llevado estos valores al programa de modelización hidrológica HecRAS para crear una simulación del alcance del río con estos caudales, y posteriormente se han trasladado los resultados de esta al sistema de información geográfica, ArcGIS, con el cual se crea la cartografía de zonas inundables (fig. 2). Durante la construcción de ambas cartografías se han pulido pequeños errores derivados del procesamiento de estas.

Al tratarse de áreas urbanizadas, con un número destacable de edificaciones, el número de elementos expuestos a una crecida será mayor respecto a lo que pudiera suceder en un área despoblada o con un menor volumen de elementos construidos (zonas de cultivo, fincas, haciendas, etc.).

En el caso del río Miño se ha puesto en la cartografía las zonas inundables correspondientes a un período de retorno de 100 años, debido al mínimo efecto de la crecida en ambas ciudades en períodos de retorno inferiores. Como se puede apreciar en la figura 2, una parte de las instalaciones portuarias de Tui se vería afectada en caso de una crecida de estas condiciones. En el caso de que existiese una flota amarrada en el momento de la inundación, los efectos serían mayores, ya que la crecida la dañaría considerablemente, incluso podría implicar que se soltase alguna de las embarcaciones con la consiguiente pérdida económica.

En el caso del río Âncora se han puesto la cartografía generada correspondiente a los tres períodos de retorno de referencia, ya que las zonas inundables correspondientes a todos estos originarían problemas en el área. Como se puede apreciar en la figura 2, la crecida del río, causaría inundaciones en varias viviendas próximas, causando grandes daños y pérdidas económicas para los habitantes.

Según el modelo, ambos sectores tendrían problemas, en diferente medida, generando principalmente pérdidas económicas a sus habitantes. En ambos lugares presentados, existiría la posibilidad de que la población también sufriese pérdidas humanas. Con la cartografía de zonas inundables, a la hora de establecer una serie de medidas de prevención o de mitigación de los efectos de estos fenómenos se puede establecer dónde se debe actuar prioritariamente, hecho importante a la hora de desarrollar cualquier plan de evacuación o cualquier plan de protección civil para hacer frente a estos eventos.

En el caso de Portugal, algunas áreas tienen realizada la cartografía de las zonas inundables, empleando otros métodos (sqrtmax, etc.) y generalmente en los ríos de mayor entidad, pero en el caso de la aquí analizada no. Con los datos que se han creado, tomando de referencia los españoles de las regiones limítrofes, la obtención de los datos disponibles de diversas instituciones portuguesas, y algunos de la Unión Europea, se ha podido aplicar el método racional, originalmente enfocado a España, a otro país y se ha podido crear la cartografía de zonas inundables en un sector que no ha sido analizado.

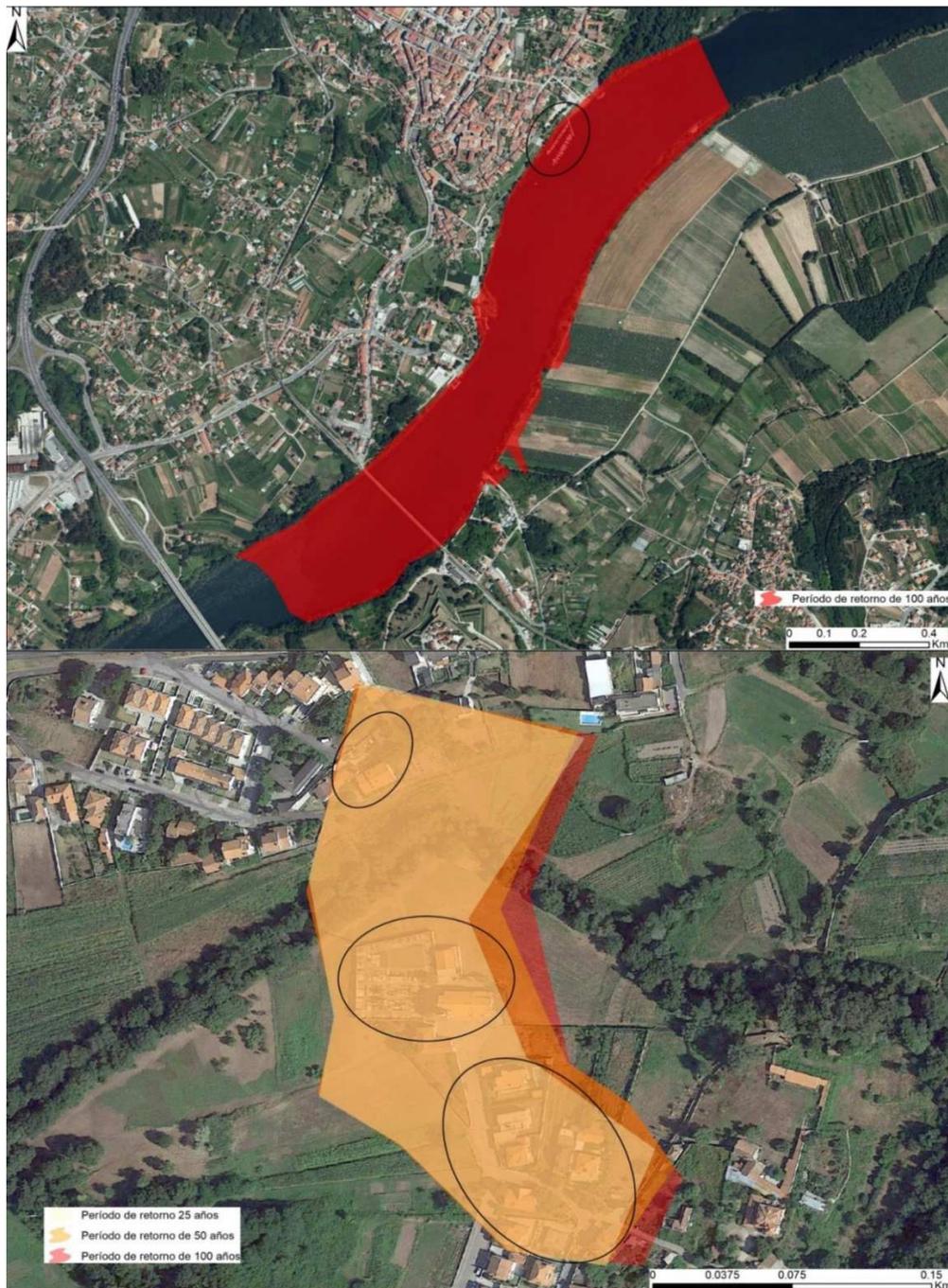


Fig.2- Zonas inundables para un período de retorno de 100 años para el río Miño y para 25, 50 y 100 años para el río Âncora en ambos sectores de análisis. Fuente: Elaboración propia. Ortofoto de Google Earth

5. Conclusiones

A la pregunta inicial de ¿se puede aplicar el método racional de Témez a otros países? La respuesta es sí, siempre y cuando se cuenten con los materiales para hacerlo. No todos los estados cuentan con la misma cantidad de información respecto a su geología, geomorfología, climática, etc., ni todos los países tienen esta información libre. El método racional está enfocado a un territorio como España en el que existe una buena cantidad de datos para realizarlo, así como la cartografía de

zonas inundables derivada de él, tratándose de una buena herramienta para emplear en la prevención, gestión y mitigación del riesgo de inundaciones. Todos los años varias partes del territorio se ven afectadas por estos fenómenos, siendo este tipo de material necesario para que los efectos se vean minimizados. La eficacia de los planes de evacuación o de los planes de protección civil también puede verse modificada por esto. Otros estados cuentan con esta información por el mismo motivo, pero la información pública es escasa, lo que dificulta cualquier tipo de investigación al respecto. A su vez está poca accesibilidad puede ser perjudicial para la población asentada en zonas inundables, ya que si esta, población potencial para verse afectada por estos fenómenos, no tiene información al respecto sobre qué hacer en caso de emergencia, a las posibles pérdidas económicas se le pueden sumar pérdidas humanas.

En el caso de Portugal existe información relativa a las zonas inundables, pero no todos los materiales necesarios para realizar investigaciones completas al respecto son libres. A la hora de intentar aplicar el método racional español, las dificultades por falta de datos son patentes, no obstante, al tratarse de un país limítrofe, parte de los datos españoles de las áreas fronterizas pueden emplearse en zonas de este país, aunque al no ser los datos exactos de la zona, el modelo parte de inicio con un margen de error. Debido a esto, se ha podido aplicar el método racional español a dos áreas portuguesas, con la consiguiente elaboración de los mapas de las zonas inundables y con el mencionado margen de error de partida. Como aproximación a la internacionalización de este método, los resultados han sido positivos, aunque si ciertos datos fuesen de dominio público el modelo mejoraría.

En Portugal se pudo realizar por proximidad geográfica y condiciones geológicas y geomorfológicas similares al oeste de España, pero ¿y en otros países? En otros territorios la aplicación de este método sería viable, en función de los datos disponibles, o si se pudiesen crear en su defecto, ya que cada territorio tiene sus propias características físicas, y la proximidad no siempre indica características similares, pero como hacerlo y el tiempo en aplicarlo dependería de como estuviera la situación actual del objeto a analizar respecto al riesgo de inundaciones.

6. Bibliografía

- CHOW, V. (1959). *Open-channel hydraulics*. New York: McGraw Hill.
- Federation Emergency Management Agency. (2016, junio). *Chapter 2 Types of Floods and Floodplains*. Retrieved from <https://training.fema.gov/hiedu/docs/fmc/chapter%20%20-%20types%20of%20floods%20and%20floodplains.pdf>
- FERRER, J. (1993). *Análisis estadístico de caudales de avenida*. Madrid: CEDEX.
- IGME. (2017). *Instituto Geológico y Minero de España*. Retrieved from Mapa geológico de la Península Ibérica: [http://info.igme.es/cartografiadigital/geologica/Geologicos1MMapa.aspx?Id=Geologico1000_\(1994\)](http://info.igme.es/cartografiadigital/geologica/Geologicos1MMapa.aspx?Id=Geologico1000_(1994))
- Instituto Nacional de Estatística. (2017). *Instituto Nacional de Estatística*. Retrieved from https://www.ine.pt/xportal/xmain?xpgid=ine_main&xpid=INE

- KELLER, E. A., & BLOODGETT, R. H. (2007). *Riesgos Naturales. Procesos de la Tierra como riesgos, desastres y catástrofes*. Madrid: Pearson Educación.
- Ministerio de Fomento. (1999). *Máximas lluvias diarias en la España peninsular*. Madrid: CEDEX.
- Ministerio de Fomento. (2016). *Orden FOM/298/2016. Norma 5.2 IC drenaje superficial de la instrucción de carreteras*. Retrieved from Ministerio de Fomento:
https://www.fomento.gob.es/MFOM/LANG_CASTELLANO/DIRECCIONES_GENERALES/CARRERAS/NORMATIVA_TECNICA/DRENAJE/
- OLCINA CANTOS, J. (2006). *¿Riesgos naturales? I. Sequías e inundaciones*. Mataró: Davinci continental. 2 vol. Colección Geoambiente XXI.
- SINGH, P., & SINGH, V. P. (2001). *Snow and glacier hydrology*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- TÉMEZ, J. (1978). *Cálculo hidrometeorológico de caudales máximos en pequeñas cuencas naturales*. Madrid: Ministerio de Obras Públicas.
- The National Severe Storms Laboratory. (2016, septiembre). *Severe Weather 101 - Floods*. Retrieved from <http://www.nssl.noaa.gov/education/svrwx101/floods/types/>
- UNIÓN EUROPEA. (2012). *Corine Land Cover*. Retrieved from Copernicus Land Monitoring Service:
<https://land.copernicus.eu>
- VÁZQUEZ-RODRÍGUEZ, A. L. (2015). SIG y realidad: Inundaciones en As Pontes de García Rodríguez (A Coruña). *SÉMATA: Revista de Ciências Sociais e Humanidades*, 69 - 94.