
Cambio climático, riesgo de inundación y medidas de adaptación: retos en la valoración de daños y evaluación de medidas

Climate change, flood risk and adaptation measures: challenges in assessing damage and evaluating of measures

Las inundaciones suponen un importante riesgo para el bienestar de las personas por el gran impacto que causan. Por ello, distintas instituciones han emprendido planes para la mejora de sistemas de alerta y prevención, mejoras que requieren información lo más precisa posible sobre los riesgos a los que se enfrenta la población y el entorno, los cuales se definen como la combinación de la probabilidad de darse un determinado suceso y el daño que potencialmente causaría. Este estudio tiene como fin avanzar en el establecimiento de metodologías que faciliten el análisis del riesgo, para lo cual se examinan varios de los estudios realizados en este contexto con el objetivo de extraer pautas metodológicas que puedan ser utilizadas en proyectos fluviales y áreas costeras.

Uholdeak oso arriskutsuak dira pertsonen ongizaterako, eragin handia dute haien bizitzan. Horregatik, erakunde horiek alerta eta prebentzio sistemak hobetuko dituzten planak prestatu dituzte. Baina hobekuntza horiek ezarri nahi badira informazio ahalik eta zehatzena behar da biztanleek eta inguruneak dituzten arriskuei buruz, betiere arrisku moduan ulertuta gertaera jakin bat gertatzeko probabilitatearen eta horrek dakarren kaltearen batura. Azterlan honen bidez, arriskua aztertzen lagunduko duten metodologiak ezartzen jarraitu nahi da; helburu horrekin, hain zuzen, testuinguru horretan egin diren ikerketa batzuk aztertu dira, gero ibaietako eta kostaldeko proiektuetan erabili ahal izango diren metodologia-arauak lortzeko.

Floods generate a considerable risk to human wellbeing due to the great impacts they cause. This is the reason behind the plans developed by different institutions that have the objective of improving alert and prevention systems. This improvement requires information as precise as possible about the risks population and environment are facing, risks that are defined as the combination of the probability of a certain event and the damage it would cause. This study has therefore the aim of helping the development of different methodologies capable of making easier the analysis of risk. In order to achieve this objective, it examines various studies performed in this context, with the intention of extracting methodological guidelines to be used in future projects in basins and coastal areas.

Pablo Martínez-Juarez

Health Economics Group, University of Exeter Medical School

Sébastien Foudi

Basque Centre for Climate Change (BC3)

Ibon Galarraga

Basque Centre for Climate Change (BC3)

Nuria Osés-Eraso

Departamento de Economía e INARBE, Universidad Pública de Navarra

Emilio Cerdá

Departamento de Análisis Económico e ICEL,

Universidad Complutense de Madrid

Índice

1. Introducción
2. Marco teórico del análisis del riesgo y de la evaluación de las medidas de adaptación
3. Cinco casos de estudios de la literatura
4. Discusión sobre los retos de la valoración del riesgo y evaluación de medidas de adaptación
5. Conclusiones

Referencias bibliográficas

Palabras Clave: inundabilidad, análisis coste-beneficio, análisis de riesgo.

Keywords: flooding, cost-benefit analysis, risk assessment.

Nº de clasificación JEL: H430; I310; Q540; Q580.

Fecha de entrada: 04/05/2020

Fecha de aceptación: 22/05/2020

Agradecimientos: Ibon Galarraga y Sébastien Foudi agradecen el apoyo del Gobierno Vasco a través del programa BERC 2018-2021 y al Ministerio de Economía y Productividad MINECO a través de la acreditación de excelencia BC3 María de Maeztu MDM-2017-0714.

1. INTRODUCCIÓN

Existe un doble motivo para el estudio exhaustivo de los riesgos derivados de riadas e inundaciones. En primer lugar, la severidad de los impactos producidos por estos fenómenos. Las inundaciones fueron responsables de casi dos tercios de las pérdidas compensadas por aseguradoras del Estado español entre los años 1987 y

192

2012 (Consortio de Compensación de Seguros, 2019), si bien esta puede ser una subestimación de los perjuicios totales. En segundo lugar, se espera que el cambio climático genere mayores riesgos por inundaciones. Esto se debe a que este aumentaría la probabilidad e intensidad de eventos climatológicos extremos. Así lo refleja la Agencia Europea del Medio Ambiente a través de un informe elaborado sobre las futuras incidencias de los desastres naturales en Europa (European Environment Agency, 2011) que describe una tendencia alcista en el número de inundaciones registradas en los últimos años. Por ello, ha sido necesario tomar de medidas por parte de las autoridades, en un esfuerzo por blindar tanto a la población como a la actividad económica frente a los riesgos derivados de las inundaciones.

Los impactos generados por las riadas no solo son considerables en su magnitud, también en su diversidad. Para el análisis de estos impactos, es habitual distinguir entre efectos directos e indirectos, y el carácter tangible o intangible de los mismos. Desde un punto de vista menos teórico, los daños se pueden dividir de otras formas, como por ejemplo, según el sector económico en el que inciden (vivienda, comercial, industrial, etc.), o según el sujeto sobre el que tienen efecto (si los efectos son sufridos por personas, otros tipos de seres vivos u objetos, etc.). Los efectos de una inundación dependen en gran medida de los patrones de asentamiento humanos y las formas de uso del terreno, así como de la capacidad humana para la prevención y la toma de medidas previas (Parry *et al.*, 2007; Ayala Carcedo, 2002; Foudi y Osés-Eraso, 2014; García Cordón, 2004).

Uno de los factores que más preocupa a las partes interesadas es el probable empeoramiento de la situación en un contexto de cambio climático. Según lo expuesto por los modelos climáticos, el calentamiento atmosférico generará una aceleración del ciclo del agua, aumentando la evapotranspiración a la vez que también aumentaría su capacidad de carga de humedad y su energía potencial (Kundzewicz y Schellnhuber, 2004). Esto implicaría un aumento de los impactos generados por las inundaciones.

El análisis de impactos debe incluir asimismo la probabilidad de que este suceda, o, en otros términos, la frecuencia de estos acontecimientos, para establecer el riesgo de inundación. El riesgo es definido en los análisis de forma semejante a la forma tomada por la Directiva Europea (CE, 2007), como la «combinación de la probabilidad de que se produzca una inundación y de las posibles consecuencias negativas para la salud humana, el medio ambiente, el patrimonio cultural y la actividad económica, asociadas a una inundación». El riesgo viene, entonces, determinado por la amenaza del evento unida a la vulnerabilidad del área. El estudio de los riesgos es requisito indispensable para el desarrollo de medidas que lo palién. Tales medidas no son iguales a la hora de prevenir eventos de gran magnitud que los de menor, dándose el potencial caso de que medidas destinadas a paliar un riesgo exacerben otro.

Existe, aun así, un gran nivel de incertidumbre. El primer factor a tener en cuenta es que conocer la probabilidad de una avenida no implica saber en qué momento acontecerá. Esto implica la necesidad de tomar medidas genéricas de protección, como el encauzamiento de ríos o la protección de humedales capaces de absorber parte de las riadas. Sin embargo, estos métodos deben ser complementados con medidas adicionales, como sistemas de alerta, que funcionan solo en las ocasiones en las que sobreviene una inundación, pero que deben ser funcionales en todo momento. Otra importante fuente de incertidumbre es la derivada de la excepcionalidad de los eventos extremos. La escasa frecuencia de las grandes avenidas dificulta su análisis (Ayala Carcedo, 2002) mostrando que en los últimos 50 años, el 94% de las víctimas en desastres por inundación se producen en inundaciones relámpago en pequeñas cuencas, donde la medida preventiva indicada es la Ordenación del Territorio. A través del análisis del conocimiento actual sobre la previsión en torno al cuándo, cómo y dónde, se llega a la conclusión de que todas las inundaciones son suficientemente previsibles para prevenir sus efectos, siendo por tanto un sofisma la afirmación que suele hacerse tras los desastres de que la inundación fue imprevisible para evadir posibles responsabilidades. Se analiza para España la problemática existente, constatándose, especialmente tras la inundación-relámpago de Biescas (Pirineo Aragonés). La construcción de modelos climáticos y mapas de riesgos es, por tanto, una tarea aún más compleja cuando se analizan incidentes de alto impacto.

Estas necesarias actuaciones tienen el inconveniente de depender en excesiva medida del tipo de avenida cuyos efectos pretenden paliar (Foudi y Osés-Eraso, 2014; Markandya, Galarraga y Sainz de Murieta, 2014). Trabajos que logran disminuir los efectos de avenidas pequeñas pueden agravar las consecuencias de las de mayor peligrosidad, mientras que las medidas capaces de lidiar con eventos excepcionalmente dañinos pueden tener repercusiones sobre el día a día de los ciudadanos o sobre la economía a distinta escala, ya sea por el coste del proyecto o por el impacto de la obra.

El objetivo de este estudio es discutir los retos de la estimación del riesgo de inundación y de la evaluación de las medidas de adaptación. Desafíos importantes existen tanto en la estimación de daños evitados como en la estimación de beneficios intangibles, tal y como los efectos en la salud o los ecosistemas que soportan el bienestar de la sociedad. Varios métodos ayudan a evaluar los efectos de una política de prevención, desde el análisis coste-beneficio al análisis coste-efectividad o análisis multicriterio. La capacidad de monetizar los daños es a menudo un criterio usado para elegir el método. Con este fin, el artículo presenta un marco teórico del análisis del riesgo de inundación presente en la literatura y recopila una selección de casos de estudio, tanto de inundaciones fluviales como por aumento del nivel del mar, incluyendo el cambio climático o el caso de obras de adaptación. Una discusión de los elementos clave de la valoración de riesgo y evaluación de medidas presenta los retos en los que se necesita avanzar para tratar la reducción del riesgo de inundación. Esta recopilación de 5 casos de estudio permite, por una parte, ofrecer una descripción metodológica de un análisis coste-beneficios y análisis de impactos del cambio climático para permitir su apli-

cación en otros contextos, y ofrecer estimaciones de las magnitudes de los potenciales daños causados por las inundaciones en distintos contextos.

El orden de los contenidos será el siguiente: el segundo apartado examinará algunas nociones básicas para el estudio del riesgo de inundabilidad y la evaluación de medidas de adaptación halladas en la literatura. El tercer apartado presenta cinco casos de estudio –en las cuencas fluviales de los ríos Ebro (Foudi *et al.*, 2015), Urola (Osés-Eraso, 2009) e Ibaizabal-Nervión (Galarraga *et al.*, 2011, Osés-Eraso *et al.*, 2012), y en la costa vasca (Galarraga *et al.*, 2011)–, su descripción y resultados. El apartado cuarto discute sobre los retos de la valoración del riesgo. El apartado quinto remarcará las conclusiones obtenidas por el estudio y tratará de dibujar una serie de recomendaciones de política en base a la experiencia acumulada.

2. MARCO TEÓRICO DEL ANÁLISIS DEL RIESGO Y DE LA EVALUACIÓN DE LAS MEDIDAS DE ADAPTACIÓN

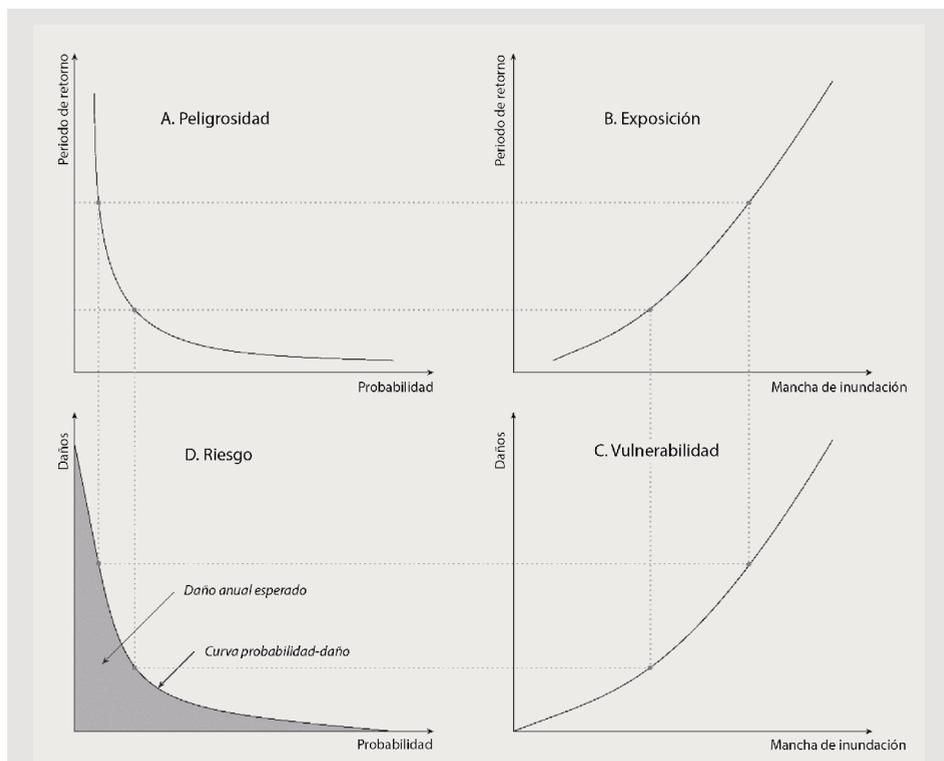
2.1. Estimación del riesgo

Resulta conveniente introducir la clasificación de los daños empleada en los casos de estudio aquí presentados. La clasificación más habitual distingue los daños dividiéndolos en cuatro grupos de dos dimensiones: dependiendo de la forma en la que el evento provoca el daño (Balbi *et al.*, 2013; Foudi y Osés-Eraso, 2014), por ejemplo, si este es causado por el evento en sí o a través de una cadena de sucesos, y dependiendo de la facilidad con la que los daños sean contabilizables de forma monetaria posteriormente. Se distinguen daños directos y tangibles –causados de forma directa por el evento y que son monetizables a través de mecanismos de mercado (Foudi y Osés-Eraso, 2014)–; daños directos e intangibles –daños causados por el evento en bienes que no son intercambiados habitualmente en el mercado y por tanto requieren de mecanismos de valoración alternativos, y que sin embargo son causa directa de la inundación–; daño indirecto y tangible –consideraciones temporales, espaciales y sectoriales entran en juego al distinguir daños directos e indirectos, pero una definición genérica dada por Foudi y Osés-Eraso (2014) hablaría de daños causados a distintas escalas–; daño indirecto e intangible –daños que no son directos ni monetizables por mecanismos habituales.

La estimación del riesgo de inundabilidad combina la estimación de elementos como la amenaza o peligrosidad, la exposición y la vulnerabilidad (Gráfico nº 1). El riesgo se determina como el producto de la probabilidad de amenaza por las consecuencias o daños (Kron, 2002; Penning-Rowsell *et al.*, 2005; Messner y Meyer, 2005; Foudi y Osés-Eraso, 2014). Unas medidas del riesgo pueden ser la propia curva de probabilidad-daño y el daño anual esperado (Foudi *et al.*, 2015). La amenaza del suceso (cuadro A, Gráfico nº 1) se define como la probabilidad de que una inundación dañina acontezca (Schanze, 2006). Existe una relación inversa entre la magnitud del evento potencialmente nocivo (la inundación) y su probabilidad o frecuencia esperada, es decir, las inundaciones de mayor magnitud son menos habituales que aque-

llas que causan menor cantidad de daños. Los factores que determinan el potencial destructor de una riada u otro tipo de inundación son su volumen de agua, el nivel que esta alcanza, la velocidad o la dinámica temporal. En base a estas características se establece un periodo de retorno, que es el tiempo medio transcurrido entre dos eventos de similares características. De manera inversa, se puede calcular la probabilidad anual de suceso $t_r = \frac{1}{p_r}$, donde t_r denota el periodo de retorno y p_r es la probabilidad de que el suceso se dé en un año determinado.

Gráfico nº 1. **DESCOMPOSICIÓN DE LA EVALUACIÓN DEL RIESGO DE INUNDACIÓN**



Fuente: Adaptado de Foudi y Osés-Eraso, 2014.

La capacidad de causar daño de una inundación depende de su magnitud, pero también de la exposición al riesgo (cuadro B, Gráfico nº 1). Esta varía en función del nivel de asentamiento humano en el entorno del área inundable. Para analizar la exposición se contabilizan los activos que se hallan en la mancha de inundación. Los eventos cuyas características son más violentas y que tienen un periodo de retorno mayor provocan daños en un área de mayor tamaño, es decir, existe una relación directa entre el periodo de retorno y la mancha que provoca, lo cual hace que la canti-

dad de bienes expuestos aumente. Pero todo aquello expuesto no tiene por qué ser igualmente impactado. Su vulnerabilidad determina el impacto final, viene determinada por las características socioeconómicas del entorno y la sensibilidad de los bienes expuestos a la inundación (cuadro C, Gráfico nº 1). La estimación de unas funciones de daños permite determinar la relación entre el daño, las características de la inundación, como la altura del agua o la velocidad, y la sensibilidad de los elementos frente a la amenaza. Estas funciones se estiman en términos absolutos o relativos. A través del cálculo de estas variables es posible estimar el riesgo de inundación. Este viene definido como la probabilidad de que se dé un suceso concreto en relación con los daños que causa (cuadro D, Gráfico nº 1). La función relaciona la probabilidad de un evento con los daños que causa. Esta curva de probabilidad-daño permite estimar el daño anual esperado (DAE), que queda definido como

$$DAE(x) = \int_0^1 x(p_r) dp_r \quad (1)$$

donde x denota una cantidad de daños y (p_r) la probabilidad de éstos. Es decir, el área bajo la curva de daño-probabilidad representa el DAE.

2.2. Evaluación del impacto del cambio climático y de cambios socioeconómicos

De acuerdo con lo expuesto, los factores que afectan a la estimación del riesgo de inundación pueden agruparse en dos bloques: factores socioeconómicos (S), como exposición, vulnerabilidad y funciones de daño; y factores climáticos (C), como peligrosidad y períodos de retorno. Cambios en los factores socioeconómicos y climáticos pueden alterar la estimación del riesgo, mejorando o empeorando el escenario de referencia (Osés-Eraso, 2009). El escenario de referencia o base presenta las características del momento del estudio, tanto en la dimensión socioeconómica como en la climática. El daño anual esperado asociado a este escenario vendría denotado como $DAE(S_0, C_0)$. Un escenario proyectado altera uno o varios de los factores y estos escenarios pueden descomponerse de manera secuencial. Un escenario base proyectado, por ejemplo, puede presentar una situación en la que los cambios socioeconómicos son tenidos en cuenta pero no así los climáticos, de forma que el riesgo viene expresado como $DAE(S_1, C_0)$. La diferencia $DAE(S_1, C_0) - DAE(S_0, C_0)$ expresa el cambio en el riesgo debido al cambio en la estructura social. Además de este segundo escenario, se requiere un tercero que añada las variables climáticas. Este escenario, cuyo riesgo vendría expresado como $DAE(S_1, C_1)$, se caracterizaría por emplear tanto predicciones sobre la evolución socioeconómica como sobre la evolución del clima en el plazo descrito. Dada una situación de cambio social, el efecto del cambio climático sobre el riesgo de inundación sería $DAE(S_1, C_1) - DAE(S_1, C_0)$.

2.3. Evaluación de las medidas de prevención y adaptación

Uno de los objetivos de las estimaciones de riesgo es poder determinar la eficiencia y la eficacia de medidas destinadas a reducir estos riesgos. La importancia de esto se ve incrementada en un contexto en el que la adaptación al cambio climático toma protagonismo en las políticas públicas.

Una de las herramientas empleadas para trasladar los riesgos, costes y beneficios futuros al presente es la del Valor Presente Neto (VPN). El VPN (ecuación nº 2) se basa en la sustracción de los costes sobre los beneficios y , por ello, está vinculado al análisis coste-beneficio. Este análisis permite estimar la rentabilidad tanto de medidas de prevención genéricas como de medidas de adaptación al cambio climático.

$$VPN = -I_0 + \sum_{t=1}^T \frac{1}{(1+r_t)^t} (B_t - I_t) \quad (2)$$

donde (I_0) correspondería al coste inicial de la medida o de la inversión, $B_t - I_t$ al beneficio neto para cada periodo, el cual vendría dado por la diferencia entre beneficios (B) y costes de inversión (I) para cada periodo (t) y r_t a la tasa de descuento. Los costes corresponden a gastos de mantenimiento o de seguimiento de la medida o programa de prevención o adaptación. Los beneficios corresponden a los daños evitados por la medida. La inclusión de co-beneficios o de costes indirectos permite tener una evaluación más completa de la medida o del programa. El análisis coste-beneficio es un método apropiado cuando los propios beneficios y costes son fácilmente medibles en términos monetarios. Sin embargo, frente a beneficios intangibles como los efectos en la salud o los ecosistemas o efectos cuya monetización es debatible, otras herramientas como el análisis coste-efectividad o multicriterio puede ofrecer una alternativa al análisis de las medidas de adaptación. El análisis a través del valor presente neto es, además, compatible con otras formas de análisis como los análisis de sensibilidad o el propio análisis multicriterio, que permite complementar este análisis desde una perspectiva más cualitativa.

Una medida de prevención puede influir tanto en la exposición como en la vulnerabilidad de la sociedad frente al peligro. Una infraestructura urbana, como un dique o una obra ambiental, como la restauración de un ecosistema de ribera, conseguiría reducir la mancha de inundación de un periodo de retorno dado. La curva del cuadro B del gráfico nº 1 se desplazaría hacia la izquierda, aunque no necesariamente de manera homogénea. La forma de la curva se podría modificar según el periodo de retorno que la medida pretenda tratar. Otras medidas afectarían a la vulnerabilidad de los elementos afectados. Un sistema de alerta temprana permite la elevación o retirada de los bienes expuestos reduciendo la sensibilidad a la inundación y permitiendo reducir los daños finales. La curva del cuadro C, gráfico nº 1 se desplazaría hacia abajo y su forma podría cambiar. Estos daños evitados conseguidos por las medidas de prevención modificarían la curva de probabilidad-daño y , en consecuencia, reducirían el DAE (cuadro D, Gráfico nº 1).

Cuadro nº 1. RESUMEN DE LOS CASOS DE ESTUDIO

| Estudio | Osés-Eraso (2009) | Galarraga et al. (2011) | Galarraga et al. (2011) | Osés-Eraso et al. (2012) | Foudi et al. (2015) |
|--------------------------------|---------------------------|-------------------------|-------------------------|--------------------------|---------------------------|
| Tipo de inundación | Fluvial | Fluvial | Costera | Fluvial | Fluvial |
| Zona de estudio | Río Urola (7 municipios)* | Río Nervión (Amurrio) | Costa Vasca | Canal de Deusto (Bilbao) | Río Ebro (6 municipios)** |
| Períodos de retorno | 10, 100, 500 | 50, 100, 500 | | 10, 100, 500 | 5, 10, 25, 50, 100, 500 |
| Daños estimados: | | | | | |
| - Áreas residenciales | X | X | | X | X |
| - Áreas no residenciales | X | X | | X | X |
| - Patrimonio cultural | X | X | | X | |
| - Áreas agrícolas | | | | | X |
| - Ecosistemas | | | X | | X |
| - Salud humana | X | X | | X | X |
| - Otros | | X | | X | |
| Estimación de riesgo: | | | | | |
| - Curva probabilidad-daño | X | X | | X | X |
| - Daño anual esperado | X | X | | X | X |
| Escenarios de cambio climático | X | X | X | | |
| Medidas de adaptación | | | | X | |

* Legazpi, Urretxu, Zumárraga, Azkoitia, Azpeitia, Zestoa, Zumaia.

** Zaragoza, Pastriz, Alfajarín, El Burgo de Ebro, Nuez de Ebro, Villafranca de Ebro.

Fuente: Elaboración propia.

La evaluación no está exenta de incertidumbre, ya que depende del cálculo que se realice del riesgo a evitar, de los supuestos utilizados en cuanto al clima, de la hidrología, de la eficiencia de las medidas o de la tasa de descuento. Para paliar los efectos de la incertidumbre, puede resultar útil el uso de distintos escenarios. La construcción de escenarios es un recurso frecuentemente utilizado en campos donde el cambio climático puede tener efectos significativos. En este sentido, los escenarios construidos a partir de los senderos de concentración (RCP) complementan a los escenarios socioeconómicos basados en los senderos socioeconómicos compartidos (SSP).

3. CINCO CASOS DE ESTUDIOS DE LA LITERATURA

Se presentan 5 casos de estudios relativos a inundaciones fluviales y costeras. Cuatro son estudios de valoración de los impactos en un escenario base, con o sin proyecciones socioeconómicas o climáticas, y uno del impacto de una medida de adaptación, como es la apertura del canal de Deusto en Bilbao. El caso del río Ebro a su paso por Zaragoza es un caso de evaluación de los impactos de las inundaciones en un escenario base. Los casos del río Nervión a su paso por el municipio de Amurrio, del río Urola en toda su cuenca y de las inundaciones costeras incluyen escenarios socioeconómicos y climáticos.

El cuadro nº 1 resume las principales características de los estudios revisados: tipo de inundación, zona de estudio, períodos de retorno incluidos en los estudios hidrológicos de partida, daños estimados, estimación del riesgo utilizada y si incluyen o no escenarios de cambio climático y/o análisis de medidas de adaptación en el análisis.

3.1. El río Ebro

Descripción

El estudio de Foudi *et al.* (2015) se ocupa de seis municipios de la cuenca del Ebro en la provincia de Zaragoza extendidos en 90 km². La ribera fluvial analizada está habitada por unas 680.000 personas, el 98% de las cuales residen en la capital. Para el cálculo de la amenaza a la que están sujetas personas y bienes en el área, los autores recurrieron a los datos hidrológicos de la Confederación Hidrográfica del Ebro. El análisis cubre periodos de retorno de 5, 10, 25, 50, 100 y 500 años. A través de estos datos se confeccionó un índice que permitiría evaluar la peligrosidad para las personas de estas potenciales inundaciones, el cual fue construido a partir de la profundidad de la inundación, la velocidad y la cantidad de escombros arrastrado por la inundación. Para analizar la exposición los usos del suelo se clasificaron utilizando la distinción catastral: suelo urbano residencial, urbano no residencial, agrario y humedales. Además de ello, el análisis incluyó también los daños a la salud de las personas, directos e indirectos, así como impactos ambientales. Para analizar la vulnerabilidad, el estudio realizó un análisis econométrico para estimar funciones de daño como una función de las características hidrológicas antes descritas. Los datos se transfirieron y adaptaron de la base de datos de Penning-Rowsell *et al.* (2005).

Los daños se calculan tanto para zonas urbanas como para zonas rurales y se desglosan según el tipo de bien afectado y sus características concretas. Podemos distinguir, por tanto, 12 tipos de daños divididos en tres grupos. En primer lugar, el daño en la propiedad residencial distingue entre (a) el daño generado en el inventario, (b) costes de limpieza y (c) reparación de los daños en edificios. Segundo, los perjuicios en propiedades no residenciales vienen clasificados por el tipo de uso que se da a la propiedad. Así, se distinguen siete grupos en total: (d) espacios comerciales, (e) áreas industriales, (f) infraestructuras, (g) locales de ocio, (h) centros de salud, (i) instalacio-

nes deportivas y (j) almacenes. En tercer lugar, en el espacio rural se consideran (k) las pérdidas económicas vinculadas a la producción agrícola y (l) daños derivados de pérdidas en servicios ecosistémicos, dependiendo del valor económico y ecológico de los humedales de la ribera del Ebro en el área de análisis. El valor económico se basa en la disposición a pagar por los servicios ecosistémicos de humedales.

Principales resultados

Los resultados finales recogidos por Foudi *et al.* (2015) aparecen indicados en términos de daño anual esperado en el cuadro nº 2 y sirven para resumir los efectos de las inundaciones en el área. Pese a ser el municipio con mayor población, tanto en términos absolutos como en densidad, Zaragoza no sufre los mayores impactos sobre la propiedad residencial. Esto se debe a la mejor capacidad de la ciudad para prevenir los daños gracias a estructuras de defensa contra las inundaciones y la calidad de los edificios.

Cuadro nº 2. RESUMEN DE LOS DAÑOS ANUALES ESPERADOS (DAE) EN ZARAGOZA Y EL RESTO DE MUNICIPIOS DE LA ZONA, EN MILLONES DE EUROS

| | Sector residencial | Sector no residencial | Agricultura | Salud | Medio-ambiente | Sociedad |
|------------------|--------------------|-----------------------|-------------|-------|----------------|----------|
| Zaragoza | 36,5 | 121,56 | 0,31 | 5,34 | NA | 163,64 |
| Resto municipios | 105,39 | 50,53 | 1,27 | 2,97 | NA | 160,16 |
| Total | 141,89 | 172,09 | 1,58 | 8,31 | 7,71 | 331,43 |

Fuente: Elaboración propia.

El DAE es un indicador sintético del riesgo. Las curvas de probabilidad-daño completan el análisis del riesgo informando sobre la distribución de éste y a qué tipo de riesgo deben destinarse las medidas de adaptación. En este caso de estudio, se observa que la mayor necesidad de reducir el riesgo de origen residencial estaría en algunos pueblos como Alfajarín, ya que tiene el DAE más alto, y, de manera casi equivalente, en ciudades como Pastriz y Zaragoza. En el caso de estas dos últimas ciudades, aunque el DAE sea parecido, la distribución del riesgo es muy diferente según las curvas de probabilidad-daño. Pastriz experimenta daños más altos que Zaragoza debido a inundaciones más frecuentes. Por ello, Pastriz necesitaría medidas de prevención del riesgo para inundaciones frecuentes, mientras que Zaragoza, ya protegida por diques, sufriría daños altos por eventos menos frecuentes.

3.2. El río Nervión

Descripción

La inundación fluvial analizada en el estudio de Galarraga *et al.* (2011) se centra en el municipio de Amurrio, situado en la cuenca hidrográfica del Cantábrico y

atravesado por el río Nervión. El estudio fue motivado por el potencial efecto del cambio climático en el riesgo de inundación y analizó los impactos de tres niveles de inundación: el menos destructivo, con un periodo de retorno de 50 años; uno de 100 años; y el de mayor magnitud, de 500 años. Los estudios realizados por Labein-Tecnalía, empleados por los autores, analizan estos tres períodos de retorno en el momento de realizar los estudios y en una predicción climática con horizonte 2050. La clasificación de daños (a-i) realizada diferencia cinco grupos: primero, los daños relacionados con la propiedad residencial, subdivididos entre (a) directos y (b) indirectos; segundo, el daño en la propiedad no residencial, incluyendo perjuicios (c) directos y (d) indirectos (los debidos al posible cese temporal de una actividad); tercero, (e) los daños al patrimonio cultural; cuarto, los daños sobre la salud humana, clasificados esta vez entre (f) los causados por el evento propiamente dicho, (g) los relacionados por las actividades posteriores al suceso y (h) aquellos que se originan ante la posibilidad de repetición del evento; y quinto, (i) el resto de daños (interrupción del transporte, coste de las emergencias y efectos de segundo orden).

Principales resultados

El estudio predice importantes efectos de los cambios socioeconómicos y climáticos en el municipio alavés. Los autores estiman tres escenarios (mínimo, medio y máximo) para cada tipo de avenida. En el estudio se destaca que los daños en el escenario base para periodos de retorno de 50 años oscilarían entre los 9,4 millones de euros (a precios de 2005) y un máximo de 18,91 millones, con una media de 14,84 millones. En el caso de las grandes avenidas, los impactos irían de los 12,75 a los 29,77 millones, con una media de 21,21 millones. En un escenario de cambio climático, el promedio estimado para las avenidas menores sería de los 17,25 millones de euros (mínimo 11,22 millones y máximo de 22,61 millones), lo cual supone un incremento del 16,2% respecto a los algo más de 14 millones mencionados en el escenario base. Los sucesos extremos (periodo de 500 años) en este escenario acarrearían costes de entre 16,49 y 35,45 millones de euros, con un promedio de 24,73 millones. El cambio porcentual medio en los sucesos extremos sería del 16,6%. Tomados los distintos escenarios, es posible dibujar la curva de probabilidad-daño que a su vez permitiría una estimación del daño anual esperado. Este sería, según el estudio, de 56.097 euros en el escenario base (utilizando la estimación media), alcanzando los 64.451 euros en un escenario de cambio climático, lo cual supone un aumento de los daños del 14,9%.

3.3. El río Urola

Descripción

A lo largo de su cuenca, el río Urola transcurre por siete municipios guipuzcoanos. El recorrido que realiza es de 55 kilómetros y su cuenca se extiende por 337 km². El estudio de Osés-Eraso (2009) se centra en los efectos de las potenciales inundaciones en las áreas urbanas de los siete municipios que atraviesa el cauce. Este río presenta una importante variabilidad entre distintas estaciones, siendo el caudal alto en invierno y primavera y bajo en verano, si bien su caudal también varía según el segmento del recorrido.

Los estudios hidrográficos empleados en el estudio fueron realizados por el Gobierno Vasco a través del programa HEC-RAS. El estudio utilizó, además, información geográfica provista por el proyecto UDALPLAN, también desarrollado por el Gobierno Vasco, así como información demográfica de EUSTAT, con el objetivo de identificar propiedades e individuos en riesgo ante eventos de distinta magnitud y periodo de retorno, en concreto 10, 100 y 500 años. El análisis de los daños potenciales realizado por este estudio dividió la evaluación de impactos en cuatro grupos que englobaban un total de nueve tipos de impactos (a-i). El primero de estos grupos contiene los impactos directos en la propiedad. En este apartado se incluyen daños en (a) las propiedades residenciales y (b) no residenciales, así como (c) daños en el patrimonio cultural. En el segundo grupo, el estudio incluye los impactos indirectos en la propiedad, diferenciando también entre (d) propiedad residencial y (e) no residencial, pero excluyendo el patrimonio cultural. El tercer apartado corresponde a los impactos en la salud, entre los que se incluyen, por un lado, (f) muertos y heridos y, por otro, (g) la ansiedad provocada por un evento traumático como puede llegar a ser una inundación. Finalmente, en cuarto lugar, se nombran otros impactos, entre los que se encontrarían (h) los costes de emergencias y (i) los efectos de segundo orden, en este caso las interrupciones en el funcionamiento de la economía de la zona. Esta clasificación sirve para abordar desde un punto de vista práctico el asunto de la cuantificación de los posibles perjuicios causados por el evento, basándose en cierta medida en la clasificación bidimensional de daños directos/indirectos y tangibles/intangibles vista anteriormente.

El estudio construye distintos escenarios para analizar la evolución del riesgo a través de dos dimensiones, la socioeconómica, y la climática. La dimensión socioeconómica incluye aspectos como la densidad poblacional o la concentración de áreas industriales en las riberas fluviales o zonas costeras. Para el escenario climático, se emplearon modelos de predicción climática para anticipar los efectos que tendrá el cambio climático sobre el riesgo de inundación en la zona.

Principales resultados

En el estudio se identifican diferentes tendencias en el riesgo observado entre los distintos municipios. La principal ventaja de ir más allá de la noción de daño anual esperado es poder observar que, aun presentando datos similares en cuanto a daño esperado, la forma que adquieren las curvas puede variar notoriamente. Esto implica que, ante un riesgo anual esperado igual, una localidad puede sufrir más por avenidas poco frecuentes pero muy dañinas mientras que otra puede sufrir las consecuencias de mayores daños más regulares. Las implicaciones son claras: las medidas de prevención y protección a tomar difieren en cada municipio.

Los datos más interesantes del estudio son los que comparan los tres escenarios considerados, un resumen de los cuales aparece en el cuadro nº 3. Al analizar el segundo de los escenarios, el que considera los cambios en la estructura socioeconómica de la cuenca del río Urola, el estudio empleó proyecciones de variables de población, vivienda y actividades económicas, las cuales permiten identificar con

relativa precisión cambios en los elementos en riesgo ante una eventual riada (Osés-Eraso, 2008). El aumento del daño anual esperado por inundación según el análisis sería del 2,73% en la cuenca hidrológica. El estudio asigna diferentes incrementos a los distintos municipios que rodean el río y considera que este pequeño aumento en el riesgo es debido al alto nivel de urbanización actual, el cual ocupa gran parte del área inundable y limita la aparición de nuevos elementos en las zonas de riesgo.

Cuadro nº 3. DAÑO ANUAL ESPERADO (DAE) EN LA CUENCA DEL RÍO UROLA. CAMBIOS SOCIOECONÓMICOS Y CAMBIO CLIMÁTICO

| Escenario | DAE (€2005) | % cambio |
|-----------------|-------------|----------|
| Base | 83.329 | |
| Base proyectado | 85.604 | 2,73% |
| Climático | 139.994 | 63,54% |

Fuente: Elaboración propia.

El tercer escenario planteado es el climático. De nuevo, los efectos de estos cambios variaban entre municipios, pese a que el multiplicador de probabilidad empleado fuera el mismo. Mientras que en algunos de los municipios el aumento en el daño anual esperado sería relativamente bajo (en torno al 24% en municipios como Azkoitia y Zumárraga); en otros el aumento del riesgo sería mucho mayor, en torno al 65% en Legazpi, e incluso el riesgo podría aumentar un 100% como en el caso de Urretxu, con respecto al escenario base proyectado. Este contraste se debe a la diferencia entre las curvas de probabilidad-riesgo de los distintos municipios: aquellos que se vieran más afectados por avenidas más extremas se llevarían la peor parte debido al aumento en la probabilidad de estas, mientras que aquellas afectadas proporcionalmente más por las avenidas frecuentes mantendrían en cierto modo sus niveles de daño. En media, la cuenca podría experimentar un incremento del riesgo medido en DAE del 63%.

3.4. El caso de la costa vasca

Descripción

Los estudios no solo se centran en cuencas fluviales, sino que también abarcan los impactos generados por un posible aumento del nivel del mar. El estudio de Galarraga *et al.* (2011) analiza la región de la costa vasca en su conjunto. Este litoral ocupa un total de 246 km y podría observar un incremento en el nivel del mar de entre 28,5 y 48,7 cm según las estimaciones citadas por los autores (Chust *et al.*, 2010) de acuerdo con los escenarios A1B y A2 del IPCC. Los impactos que causaría este fenómeno abarcarían distintas áreas, entre ellas, la inundación de zonas costeras y humedales, la pérdida de hábitats, la salinización de acuíferos y suelos o la erosión. En este caso, la metodología empleada consta de cuatro fases: (I) Identificación de las distintas áreas susceptibles de sufrir una inundación; (II) Proyección de estas áreas; (III) Categoriza-

ción de los servicios de ecosistema; (IV) Estimación y monetización de los daños. El estudio empleó modelos de terreno digitales (DTM) a partir de imágenes LIDAR (Light Detection y Ranging). Para estimar los daños a largo plazo, se calculó el valor presente de los daños que generarían las aguas en las zonas a analizar.

La primera área de riesgo de la que se habla en el análisis es la de los ecosistemas dunares. Se trata de uno de los hábitats de mayor valor ambiental en el entorno del País Vasco y de los que mayor presión antrópica sufren (Sainz de Murieta, 2011). Para su valoración se utilizaron los costes de recuperación y de restauración, atendiendo a los costes previstos para la zona dunar de Urdaibai. Por otra parte, las zonas de costa con acantilados y zonas rocosas supralitorales fueron valorados también mediante costes de restauración y recuperación (Galarraga *et al.*, 2004), pero añadiendo los valores de uso pasivo (Ramos, Longo y Markandya, 2009) con la referencia esta vez de la zona costera de Jaizkibel. En cuanto a los humedales, cuyos servicios como ecosistema son especialmente amplios (Barbier, Acreman y Knowler, 1997), su valoración se realizó utilizando tanto los costes de restauración como valores de no mercado. La última posibilidad considerada fue la de los hábitats terrestres tales como bosques de ribera que acompañan a los humedales. Estos fueron evaluados a través de sus valores de uso pasivo (Ramos, Longo y Markandya, 2009), actividades recreativas y su capacidad de captura de carbono.

Principales resultados

El estudio analizado estimó que para el año 2100 este fenómeno provoque un coste de entre 87 y 231 millones de euros (euros de 2005 y empleando una tasa de descuento del 2%). Para este cálculo se han empleado valores de uso y no uso. El uso de valores de restauración implicaría un significativo descenso de la valoración de los entornos dañados, ya que, por norma general, la restauración de un elemento implica un valor menor al que se le otorga dejando la cifra de daños en casi 1,9 millones de euros.

Los autores también miden el cambio en los resultados que propiciaría un enfoque más ético en el que el peso de las generaciones futuras fuera mayor. Para ello repiten el cálculo en base a una tasa de descuento del 1% (Wheater y Evans, 2009). En este caso, el resultado crecería también de manera notoria, pasando a un intervalo de entre 214 y 565 millones de euros (euros de 2005) de daño. Los autores advierten que esta estimación puede llegar a considerarse conservadora al estar basada en los daños calculados en el estudio de Galarraga *et al.* (2004), que, por sus características, no incluía daños a muy largo plazo o pérdidas irremediables.

Existen asimismo estudios alternativos, entre los que se puede destacar el descrito por Méndez *et al.* (2004), que ofrece datos sobre el conjunto de la costa española. Los autores dividen la costa española (incluida la insular) en 12 zonas según las características más relevantes y calculan los efectos de los potenciales cambios sobre playas, estuarios, ecosistemas dunares y obras marítimas. El estudio busca un objetivo triple: evaluar los cambios en la dinámica costera española, evaluar los efectos del cambio climático en el litoral, y acercarse a políticas y estrategias frente al cambio climático.

3.5. La apertura del canal de Deusto en Bilbao

Descripción

Este análisis fue realizado en el contexto de la apertura del canal de Deusto en Bilbao que convirtió la península de Zorrozaurre en una isla, con el consiguiente impacto hidrológico en la ría de Bilbao (Osés-Eraso, Foudi y Galarraga, 2012). Según los resultados preliminares, este cambio en la estructura hidrográfica reduciría considerablemente las pérdidas económicas generadas por inundaciones en la capital vizcaína. El escenario inicial planteado es el de una apertura de 50 metros en el istmo, aunque para la realización del estudio se plantearon distintos anchos de apertura del canal. La división de los tipos de daño realizada en este estudio se asemeja a la realizada en Osés-Eraso (2009) y en el análisis fluvial en Galarraga *et al.* (2011), dividiendo entre daños a la propiedad residencial, propiedad no residencial, al patrimonio cultural, a la salud humana y un quinto grupo que agruparía «otros daños».

Principales resultados

En el caso de Bilbao, el estudio realiza una comparación entre el escenario base y la medida de reducción de riesgo planteada: la apertura de un tramo de canal que conectaría el canal de Deusto con el curso principal de la ría de Bilbao. El estudio basa su análisis en estudios hidráulicos disponibles para tres tipos de avenidas: 10, 100 y 500 años. Además, para cada escenario propone un rango de estimaciones, alto-bajo, en cada caso.

En el escenario base, los daños en el caso de avenidas frecuentes (10 años) oscilaría entre los 5,53 y los 6,84 millones de euros (IHOBE, 2007). Para avenidas medianas (100 años), las estimaciones de daños van de los 241,34 a los 294,43 millones de euros. En el caso de eventos extremos (retornos de 500 años), los daños podrían ser de entre 444,3 y 538,24 millones de euros. A partir de estas probabilidades y daños se pueden extrapolar las curvas de riesgos, con las que a su vez se obtendrían las estimaciones de daño anual esperado. En este caso se calcularon también dos casos de daños anual esperados, en base a la estimación baja y alta, e irían de los 225,1 a los 275,6 millones de euros.

La siguiente parte del estudio analiza las consecuencias, partiendo del escenario base, de la conversión de la península de Zorrozaurre en una isla. Para obtener la variación en el riesgo, el estudio considera la variación en las características hidrológicas generadas. Emplean la estimación de una reducción en la altura de la lámina de agua de entre 0,7 y 1,07 m. Se asume, por un lado, que la variación es el punto medio entre ambas estimaciones: 0,885 m, y, por otro lado, que esta apertura no modificaría la velocidad del agua en las distintas secciones del cauce. Los resultados son contundentes: para avenidas menores (retorno de 10 años), los daños desaparecen tanto en estimaciones altas como en bajas; para retornos de 100 años, los daños pasarían a reducirse, en la estimación más conservadora, de 241,34 a 78,62 millones de euros, lo cual significa una reducción del 67,42%; y para las avenidas más severas (500 años de retorno), pasarían de generar unas pérdidas de 444,3 a 307,91 millones de euros, o lo que es lo mismo, se verían reducidas en un 30,7%. Tras calcular las curvas de probabilidad-da-

ño, el valor aproximado del daño anual esperado oscilaría ahora entre los 11,028 y los 14,165 millones de euros. Para ambos escenarios la reducción rondaría el 95%.

4. **DISCUSIÓN SOBRE LOS RETOS DE LA VALORACIÓN DEL RIESGO Y EVALUACIÓN DE MEDIDAS DE ADAPTACIÓN**

Si bien el enfoque que se plantea del riesgo es eminentemente cuantitativo, existen cuestiones que requieren del análisis a largo plazo, y el desarrollo de medidas de prevención de riesgos se encuentra entre ellas, más aún cuando se plantean como medidas de adaptación al cambio climático, puesto que responderían a unos niveles de riesgo cambiantes. Algunas de estas cuestiones son planteadas en Galarraga *et al.* (2011), basándose a su vez en Markandya y Watkiss (2009).

Los estudios analizados presentan ciertos paralelismos, particularmente en cuanto a metodologías. Uno de los principales asuntos a tener en cuenta es el cómo contabilizar los daños. Esta cuestión puede resultar menor a la hora de estimar los daños sobre bienes intercambiables en mercados, como pueden ser vehículos, bienes inmuebles, etc. (Cuadro nº 1). Sin embargo, las diferencias en metodologías de valoración de bienes no intercambiables en los mercados pueden afectar a los resultados finales. A pesar de ello, la estimación de los daños debe ser lo más exhaustiva posible, ya que de ello también depende la precisión del análisis. Las potenciales distorsiones causadas por la selección de períodos de retorno son menores, si bien deben ser consideradas. Los estudios toman periodos de retorno de hasta 500 años, con un retorno mínimo de 5 años. El uso de una mayor cantidad de periodos de retorno (en este caso los estudios usan tres o seis periodos) ofrece mayor precisión en los análisis.

El análisis se sustenta sobre dos pilares: la amenaza (determinada por las condiciones climáticas) y la vulnerabilidad (determinada por las condiciones socioeconómicas). Ambas variables presentan incertidumbre en el largo plazo. De ahí la necesidad de desarrollar modelos que ofrezcan escenarios socioeconómicos y climáticos capaces de reducir estas incertidumbres. Si bien tres de los estudios tienen en cuenta los escenarios futuros de cambio climático, tan solo uno tiene el objetivo de analizar una medida de adaptación a este, a través de la estimación de los costes derivados de la acción frente a los costes esperados en caso de inacción.

Quizás la consideración más importante es la preferencia por la inmediatez. Por norma general, los beneficios presentes son valorados más que los futuros, de la misma manera que los costes futuros generan menor perjuicio que los presentes. La tasa de descuento es la herramienta económica utilizada para introducir esta consideración dentro de los cálculos a realizar. Sin embargo, la cuantificación de una tasa de descuento es compleja debido a cuestiones morales, tales como dar más peso al bienestar de las generaciones futuras, ya que esto implicaría reducir el tipo de interés a aplicar, mientras que una ponderación mayor del bienestar presente implicaría una tasa de descuento mayor. Puede parecer que este desacuerdo no tiene influencia, pero no debemos olvidar que estamos haciendo referencia a crecimientos exponenciales a lo largo de periodos de tiempo que superan habitualmente los 50 años para una inversión.

La diferencia puede ser tal que estudios sobre un mismo tema pueden arrojar conclusiones opuestas tras un cambio aparentemente pequeño en la tasa de descuento. Con el fin de integrar esas consideraciones intergeneracionales, la tasa de descuento de las inversiones públicas puede llegar a tener una estructura decreciente con el tiempo, como se ilustra en Groom (2014). Así, en el Reino Unido la tasa de descuento es de 3,5% hasta 50 años y decrece por tramos hasta llegar al 1% para proyectos a 300 años. En Francia, en cambio, es de 4% hasta 30 años y fija a 2% encima de 30 años.

Por otro lado, existen diversas formas de incertidumbre. La incertidumbre afecta a las predicciones sobre el cambio climático no solo de forma directa, al ser complicado determinar de manera precisa los efectos del cambio climático sobre determinado escenario, sino también, por ejemplo, al afectar a cuestiones como el desarrollo económico o demográfico de una región. La incertidumbre existe además a varios niveles. Todos los modelos analizados se basan en escenarios probabilísticos, ya que la predicción de eventos, como las inundaciones, no es posible salvo a muy corto plazo. Es por ello necesaria la construcción de este tipo de modelos que ayuden a tomar medidas de prevención (Weitzman, 2007). La incertidumbre también afecta a los escenarios base, al ser estimaciones de los cambios en la población, economía o comportamiento, entre otros.

La reversibilidad, flexibilidad y gestión adaptativa también pueden ser factores relevantes a la hora de analizar las dinámicas de riesgo y adaptación. Determinadas medidas llevadas a cabo para reducir el riesgo pueden resultar erróneas o dejar de ser útiles en determinadas circunstancias. Por ello, aquellas medidas más fácilmente reversibles o flexibles pueden generar mejores beneficios. En este contexto, algunas medidas son clasificadas como «*no-regret measures*», aquellas que, aun en caso de no resultar útiles, tampoco resultan inconvenientes. Muchas de estas medidas «*no-regret*» pertenecen a las denominadas medidas de adaptación blandas, que se definen en contraposición a las medidas duras de adaptación, las cuales guardan relación con los cambios en la estructura física del entorno, mientras las segundas se refieren a cambios en los comportamientos de los individuos. Estas medidas de adaptación generan también, en ocasiones, beneficios sobrevenidos o co-beneficios, esto es, beneficios asociados a medidas de adaptación que no son los principales objetivos de la medida en sí.

También es necesario considerar los impactos en la economía y las relaciones intersectoriales. En este caso, esta cuestión surge de los impactos directos, indirectos e inducidos, que pueden reflejarse en otros sectores, tal y como recogen los modelos de equilibrio general o las tablas *input-output*. Asimismo, las cuestiones redistributivas también deben ser consideradas. Por una parte, es previsible que el impacto del cambio climático afecte con más severidad a las poblaciones empobrecidas, pero también es importante tener en cuenta que el coste de determinadas medidas de adaptación puede recaer de manera desproporcionada sobre los mismos grupos.

Otra cuestión recurrente es la necesidad de mezclar evaluaciones monetarias y no monetarias. Esta combinación hace que los análisis coste-beneficio resulten más complejos y limitados, a lo que se debe añadir asuntos como la disponibilidad de información o la distribución de impactos (Galarraga *et al.*, 2011). Por ello, algunos

estudios consideran la opción de incorporar análisis basados en otras metodologías, tales como el coste eficacia, el enfoque de riesgo o multicriterio.

Las medidas de mitigación deben ser diferenciadas, asimismo, de las de adaptación. Aunque la relación entre ambos conceptos no sea tan sencilla como pudiera parecer en un primer momento, la diferencia debe permanecer clara en todo análisis. Uno de los motivos es la posibilidad de que las medidas de adaptación tengan un efecto en las emisiones, con lo que al mismo tiempo ayudarían a la adaptación y contravendrían la mitigación.

Por último, la estimación de la eficiencia de cada una de las medidas preventivas del riesgo de inundación antes de su ejecución, si bien es necesaria, es un trabajo minucioso y costoso en términos de recursos. La transferencia o extrapolación de unos estudios geográficos a otras áreas puede resultar atractiva, pero tendrá un margen de error significativo. De los elementos necesarios para llegar a una estimación del riesgo y de daños evitados por una medida de adaptación, se ha demostrado por medio de análisis de sensibilidad que son las funciones de daños que proporcionan la mayor fuente de incertidumbre en la valoración del riesgo de inundación (De Moel y Aerts, 2011; De Moel *et al.*, 2012; Saint-Geours *et al.*, 2013). Un estudio de Castillo-Rodríguez *et al.* (2016) ilustra con un caso de estudio en el sureste de España que los daños por unidad de superficie pueden variar de un factor 5 a 40 según la función de daños calibrada en diferentes sectores de la economía.

5. CONCLUSIONES

El riesgo derivado de inundaciones es significativo y cabe esperar que se incremente por efecto de los cambios económicos, sociales y demográficos, así como por efecto del cambio climático. De ahí la importancia de las medidas preventivas. El paso previo a la toma de decisiones es la identificación de los riesgos derivados de las inundaciones. Los estudios analizados suponen un gran paso a la hora de encontrar la información necesaria. Sin embargo, existe la necesidad de continuar las investigaciones que lleven a una identificación de los riesgos si no óptima, al menos suficiente.

Los impactos derivados de las inundaciones pueden adoptar distintas formas y pueden ser clasificados de distintos modos. La más habitual distingue entre daños directos/indirectos y tangibles/intangibles. No obstante, para recalcar la amplitud de los perjuicios que generan eventos de este tipo, podemos clasificar los daños en los generados en activos, los que afectan a la actividad económica, los que crean perjuicios a la salud de las personas y los daños en el medioambiente. Estos daños tenderán a crecer según las predicciones de los modelos expuestos en este trabajo. El cambio climático no será la única fuerza que contribuya a esto. Una buena parte de la población mundial reside en entornos susceptibles de padecer un evento extremo de este tipo, bien por encontrarse en entornos fluviales, bien al situarse cerca de la costa. Nada indica que esta tendencia vaya a revertirse, si acaso, la tendencia podría llevar a acentuar este fenómeno (Travers *et al.*, 2012). La concentración de personas y activos en áreas urbanas protege a los individuos y a su capacidad productiva, pero

también implica un potencial riesgo de catástrofe una vez que un evento extremo alcanza un área densamente poblada. Existen, por lo tanto, dos fuerzas contrapuestas: por una parte, el desarrollo económico, que reduce la vulnerabilidad de aquellas personas y bienes expuestas a inundaciones; y por otra parte, el aumento de individuos y activos expuestos a eventos peligrosos en todo el mundo.

Las herramientas empleadas en los estudios analizados no son las únicas que han sido concebidas por los expertos para afrontar el problema de las inundaciones. Como cualquier modelo, estos mecanismos no están exentos de problemas y cuestiones a tener en cuenta. Si bien no es el más importante, un problema que destaca por estar en la base de la modelización, es la definición de lo que es un desastre, un evento catastrófico y otros conceptos del mismo campo semántico (Okuyama y Sahin, 2009; Hallegatte y Przulski, 2010). Pese a que los modelos analizados abarquen desde sucesos muy frecuentes, y que pueden incluso no generar ningún daño, hasta aquellos cuya capacidad destructiva es total, es a menudo necesario buscar los puntos de inflexión de los que depende la toma de decisiones. Se trata de puntos donde la percepción del riesgo puede cambiar abruptamente pese a que el cambio en el riesgo real sea constante. Dicho con otras palabras, la aversión hacia los eventos extremos contrasta con la relativa indiferencia frente a daños fáciles de anticipar, situación que resulta de gran importancia a la hora de diseñar políticas.

El segundo problema a destacar es el de la incertidumbre, al radicar en el núcleo del modelo, ya que lo que se busca es precisamente afrontar los problemas derivados de situaciones inciertas que causen daños a la sociedad. Existen dos fuentes de incertidumbre (Qi, Qi, y Altinakar, 2013). Por una parte, se encuentra la incertidumbre que trata de solventar el modelo, es decir, el desconocimiento sobre los procesos que desembocan en inundaciones, como la variabilidad natural en las lluvias, y que imposibilitan la predicción exacta del momento y de la intensidad de un evento del tipo analizado. Por otra parte, a esta incertidumbre se le añade una variedad que Qi, Qi, y Altinakar (2013) denominan «epistémica», y que se debe a la imposibilidad de abarcar todos los datos necesarios y así construir un modelo que describa con exactitud los procesos físicos relacionados con inundaciones.

Sin embargo, aún sigue siendo necesario profundizar en la investigación en varios frentes. Posiblemente el más valioso sea avanzar en la construcción de modelos climáticos, tanto globales como locales, que permitan identificar, con la mayor precisión posible, los efectos del cambio climático sobre las variables meteorológicas más importantes, entre las que se encuentran las relacionadas con las precipitaciones. La capacidad de predecir los cambios económicos, demográficos y sociales queda fuera del alcance de la investigación actual, lo cual no quiere decir que no exista cierto espacio para una mejora que aumente la precisión de las predicciones. Otro foco de mejora se encuentra en la evaluación de los daños potenciales. Aunque se ha escrito mucho en este sentido, es evidente que existe aún espacio para la mejora debido a la dificultad para la valoración de activos intangibles, que incluye aspectos de tremenda importancia, tales como los servicios de los ecosistemas o la salud humana.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AYALA CARCEDO, F.J. (2002): «El Sofisma de la imprevisibilidad de las inundaciones y la responsabilidad social de los expertos: Un análisis del caso español y sus alternativas», *Boletín de La Asociación de Geógrafos Españoles*, 33: 79-92. <http://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=1122434&info=resumen&idioma=SPA>
- BALBI, S.; GIUPPONI, C.; OLSCHESKI, R.; MOJTAEH, V. (2013): «The economics of hydro-meteorological disasters: approaching the estimation of the total costs», BC3 Working Paper Series 2013-12. Bilbao. <http://papers.ssrn.com/abstract=2317437> http://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=2317437.
- BARBIER, E.B.; ACREMAN, M.; KNOWLER, D. (1997): «Economic valuation of wetlands - A guide for policy makers and planners», Ramsar Convention Bureau, Gland. <https://www.researchgate.net/publication/246010067>.
- CASTILLO-RODRÍGUEZ, J.T.; ESCUDER-BUENO, I.; PERALES-MOMPARLER, S.; PORTA-SANCHO, J.R. (2016): «Enhancing local action planning through quantitative flood risk analysis: a case study in Spain», *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 16: 1699-1718. <https://doi.org/10.5194/nhess-16-1699-2016>
- CE (2007): «Directiva 2007/60/CE del Parlamento Europeo y del Consejo», Bruselas.
- CHUST, G.; CABALLERO, A.; MARCOS, M.; LIRIA, P.; HERNANDEZ C.; BORJA, A. (2010): «Regional scenarios of sea level rise and impacts on Basque (Bay of Biscay) coastal habitats, throughout the 21st century», *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 87: 113-124
- CONSORCIO DE COMPENSACIÓN DE SEGUROS (2019): «Estadística Riesgos Extraordinarios-Serie 1971-2018», Consorcio de Compensación de Seguros, Madrid. http://www.consor-seguros.es/web/documents/10184/44193/Estadistica_Riesgos_Extraordinarios_1971_2014/14ca6778-2081-4060-a86d-728d9a17c522.
- DE MOEL, H.; AERTS, J.C.J.H. (2011): «Effect of uncertainty in land use, damage models and inundation depth on flood damage estimates», *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 58: 407-425.
- DE MOEL, H.; ASSELMAN, N., AERTS, J. C. J. H. (2012): «Uncertainty and sensitivity analysis of coastal flood damage estimates in the west of the Netherlands», *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 12: 1045-1058.
- EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY (2011): «Disasters in Europe: More frequent and causing more damage», European Environment Agency. Copenhagen. <https://doi.org/10.1007/978-981-13-0974-8>.
- FOUDI, S.; OSÉS-ERASO, N. (2014): «Flood risk management: assessment for prevention with hydro-economic approaches», en Markandya, A., Galarraga, I., Sainz de Murieta, E. (eds.), *Routledge Handbook of the Economics of Climate Change Adaptation (Hardback)*, Routledge, London & New York.
- FOUDI, S.; OSÉS-ERASO, N.; TAMAYO, I. (2015): «Integrated spatial flood risk assessment: The case of Zaragoza», *Land Use Policy*, 42: 278-292. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2014.08.002>
- GALARRAGA, I.; MARTÍN LANDA, I.; BERISTAIN ETXABE, I.; BOTO BASTEGIETA, A. (2004): «El método de transferencia de valor (benefit transfer), una segunda opción para la evaluación de impactos económicos», *Ekonomiaz*, 57: 30-45.
- GALARRAGA, I.; OSÉS-ERASO, N.; MARKANDYA, A.; CHIABAI, A.; KHATUN, K. (2011): «Aportaciones desde la economía de la adaptación a la toma de decisiones sobre cambio climático: Un ejemplo para la Comunidad Autónoma Del País Vasco», *Economía agraria y recursos naturales*, 11: 113-42.
- GARCÍA CORDÓN, J. (2004): «Las ciudades españolas y el riesgo de inundación: Permanencia y cambio de un problema crónico», *Boletín de La Asociación de Geógrafos Españoles*, 37: 85-100.
- GROOM, B. (2014): «Discounting», en: Markandya, A., Galarraga, I., Sainz de Murieta, E. (eds.), *Routledge Handbook of the Economics of Climate Change Adaptation (Hardback)*, Routledge, London & New York.
- HALLEGGATTE, S.; PRZYLUKI, V. (2010): «The economics of natural disasters concepts and methods», Policy Research Working Paper 5507, Washington. <https://doi.org/10.1146/annurev-resource-073009-104211>.
- HOYOS, D.; LONGO, A.; MARKANDYA, A. (2009): «Concienciación pública y aceptabilidad de medidas para la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero: El caso del País

- Vasco», *Papeles de Economía Española* 21 (121): 68–78. <http://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3063039>.
- IHOBE (2007): «Metodología para valorar los costes de los impactos del cambio climático», IHOBE, Bilbao.
- KRON, W. (2002): «Flood risk=hazard x exposure x vulnerability», en Wu, B.S.; Wang, Wang, G.Q.; Huang, G. H.; Fan, H.W.; Huang, J.C. (eds.) *Flood defence*, Science Press, New York.
- KUNDZEWICZ, Z.W.; SCHELLNHUBER, H.J. (2004): «Floods in the IPCC TAR Perspective», *Natural Hazards* 31(1): 111–28. <https://doi.org/10.1023/B:NHAZ.0000020257.09228.7b>.
- MARKANDYA, A.; WATKISS, P. (2009): «Potential costs and benefits of adaptation options: a review of existing literature», Technical Paper UNFCCC. <http://unfccc.int/resource/docs/2009/tp/02.pdf>.
- MÉNDEZ, F.J.; MEDINA, R.; LOSADA, I.J.; OLABARRIETA, M.; TOMÁS, A.; LISTE, M.; MENÉNDEZ, M.; ABASCAL, A.J.; AGUDELO, P.; CASTANEDO, S. (2004): «Materia de investigación sobre impactos en la costa española por efecto del cambio climático», en García Codron, J. C., Diego Liaño, C., Fdez. de Arróyabe Hernández, P., Garmendia Pedraja, C. y Rasilla Álvarez, D. (eds.) *El Clima Entre El Mar y La Montaña*, Asociación Española de Climatología y Universidad de Cantabria, Santander. http://www.mapama.gob.es/es/cambio-climatico/temas/impactos-vulnerabilidad-y-adaptacion/fase3_costas_tcm7-12443.pdf.
- MESSNER, F.; MEYER, V. (2005): «Flood damage, vulnerability and risk perception-challenges for flood damage research», UFZ Discussion Papers 13/2005, Leipzig.
- OKUYAMA Y.; SAHIN S. (2009): «Impact estimation of disasters: a global aggregate for 1960 to 2007», World Bank Policy Research Working Papers, 4963, 1–42, Washington.
- OSÉS-ERASO, N. (2008): «Costes del cambio climático: riesgo de inundación en la Cuenca del río Urola», Documento de Trabajo elaborado para IHOBE, Bilbao.
- (2009): «Costes Del Cambio Climático En El País Vasco Por Riesgo de Inundación», *Ekonomiaz*, 71 (2): 62–83.
- OSÉS-ERASO, N.; FOUFI, S.; GALARRAGA, I. (2012): «Análisis del impacto socio económico del daño por inundación en la Ría de Nervión», Basque Centre for Climate Change (BC3), Bilbao.
- PARRY, M.L.; CANZIANI, O.F.; PALUTIKOF, J.P.; VAN DER LINDEN, P.J.; HANSON, C.E. (2007): «Climate Change 2007: Impacts, adaptation and vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change», *International Journal of Climatology*. Cambridge. <https://doi.org/10.2134/jeq2008.0015br>.
- PENNING-ROUSELL, E.; JOHNSON, C.; TUNSTALL, S.; TAPSELL, S.; MORRIS, J.; CHATTERTON, J.; GREEN, C. (2005): «The benefits of flood and coastal risk management: A handbook of assessment techniques», Middlesex University Press, London.
- QI, H.; QI, P.; ALTINAKAR, M.S. (2013): «GIS-based spatial Monte Carlo analysis for integrated flood management with two dimensional flood simulation», *Water Resources Management*, 27 (10): 3631–45. <https://doi.org/10.1007/s11269-013-0370-8>.
- SAINT-GEOURS, N.; LAVERGNE, C.; BAILLY, J.S.; GRELOT, F. (2013): «Ranking sources of uncertainty in flood damage modelling: a case-study on the cost-benefit analysis of a flood mitigation project in the Orb Delta, France», *Journal of Flood Risk Management*, 8:161–176 DOI: 10.1111/jfr3.12068
- SAINZ DE MURIETA, E. (2011): «Reconstrucción paleoambiental a partir del registro geológico en las marismas de Urdaibai: Cambios en el nivel del mar», *CQK Quaternary Studies* 1 (1): 171–81. <https://www.researchgate.net/publication/233740265>.
- SCHANZE, J. (2006): «Flood risk management. A basic framework», en Schanze, J., Zeman, E. y Marsalek, J (Eds.) *Flood Risk Management: Hazards, Vulnerability and Mitigation Measures*. Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-4598-1_1.
- TRAVERS, A.; ELRICK, C.; KAY, R.; VESTERGAARD, O. (2012): «Ecosystem-based adaptation guidance: moving from principles to practice», United Nations Environment Programme, Nairobi.
- WEITZMAN, M.L. (2007): «A review of the stern review on the economics of climate change», *Journal of Economic Literature*, 45 (2): 703–724.
- WHEATER, H.; EVANS, E. (2009): «Land use, water management and future flood risk», *Land Use Policy*, 26: (SUPPL. 1). <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2009.08.019>.