

Costes del cambio climático en el País Vasco por riesgo de inundación

El calentamiento global puede modificar el régimen de precipitaciones, tanto en intensidad como en distribución temporal, alterando la frecuencia de posibles inundaciones. La probabilidad o frecuencia de una inundación junto con el daño que dicha inundación puede causar determinan el riesgo de inundación. El presente análisis estudia el efecto potencial que el cambio climático tiene sobre las curvas de probabilidad-daño que caracterizan el riesgo de inundación así como los efectos del desarrollo económico y el cambio social sobre la estimación de daños. Se presenta una estimación cuantitativa de este riesgo para la cuenca del río Urola. Estas estimaciones son relevantes para la toma de decisiones públicas en materia de gestión de riesgos.

Planeta osoaren berotzearen ondorioz bestelakoa izan daiteke euri-erregimena —zenbat eta zenbatean behin aritzen duen—, uholdeen maiztasuna aldatuz. Uholdeak izateko arriskua uholde baten probabilitatearen edo maiztasunaren baitan dago, eta, horrekin batera, uholde horrek sor dezakeen kaltearen mende ere bai. «Probabilitate/kalte» kurbetan (uholdeak izateko arriskuaren ezaugarri) klima-aldaketak izan lezakeen eraginaz gain, kalteak estimatzean garapen ekonomikoak eta gizarte-aldaketak dituzten ondorioak ere ikertzen ditu azterlan honek. Urola ibaiaren arroan dauden arriskuaren estimazio kuantitatiboa ere aurkezten du. Estimazio horiek garrantzitsuak dira arrisku-gaien kudeaketari dagokionez erabaki publikoak hartzeko orduan.

Global warming can modify the intensity and the seasonal distribution of rainfall, modifying the frequency of flooding events. Flood risk is usually determined as a combination of the probability of flooding and the consequential damage. The present analysis considers the potential effect that climate change can have on the loss-probability curves that characterize flood risk. It also considers the importance that economic and social development has when it comes to estimation of damages for flooding. The quantitative case study corresponds to the catchment basin of the river Urola. This analysis constitutes a useful exercise for strategic flood management as it may help to adopt better and more suited decisions.

ÍNDICE

1. Introducción
2. Valoración del riesgo de inundación
3. Aplicación. La cuenca del río Urola
4. Conclusiones

Referencias bibliográficas

Palabras clave: inundación, curva de probabilidad-daño, cambio climático.

Keywords: Flood, loss-probability curve, climate change.

N.º de clasificación JEL: Q54, Q51, C51.

1. INTRODUCCIÓN

Las noticias sobre ríos que se desbordan, no sólo en España sino en cualquier lugar del mundo, aparecen cada cierto tiempo en las noticias. En los últimos años, este tipo de fenómenos naturales se observan cada vez con mayor frecuencia causando numerosas pérdidas materiales y, en ocasiones, también personales. Las inundaciones fluviales constituyen uno de los riesgos naturales que mayor impacto económico y social genera en un corto espacio de tiempo (Benito *et al.*, 2005) y un buen número de las catástrofes ocasionadas aparecen ante la opinión pública ligadas a actuaciones de origen humano como la ocupación de márgenes e, incluso, cauces de ríos. Pero también se imputan, cada vez con más frecuencia, a la variabilidad del clima que puede modificar los eventos meteorológicos extremos (García Codron, 2004).

El riesgo de inundación es el resultado de la combinación de dos factores principales. El primer factor lo forman aspectos climáticos, como el exceso de precipitaciones en una cuenca o la concentración temporal de las mismas. El segundo lo forman aspectos sociales como la localización y el desarrollo urbanístico que delimitan la exposición de bienes y, en consecuencia, la vulnerabilidad de una determinada zona ante una crecida fluvial. Ambos factores, climáticos y sociales, pueden evolucionar a lo largo del tiempo modificando el riesgo de inundación.¹

Señalan Benito *et al.* (2005) que las inundaciones con mayor impacto socioeconómico ocurridas en España en las últimas décadas pueden relacionarse con eventos

¹ García Codron (2004) realiza un análisis histórico del riesgo de inundación, su evolución en distintas ciudades españolas y el papel desempeñado por factores físicos y humanos.

meteorológicos extremos que han ocasionado crecidas relámpago de los ríos, sobre todo en cuencas de tamaño medio o pequeño. Asimismo, estos autores indican que el cambio climático puede ocasionar sucesos hidrológicos extremos en España aumentando el número de episodios de caudal extraordinario que se producen en un año, afectando a su frecuencia interanual, a la duración y volumen de los hidrogramas y a los caudales punta. Todo esto podría afectar a la frecuencia de las inundaciones fluviales y, por lo tanto, al riesgo de inundación; aunque no hay que olvidar que la incertidumbre está presente en todas las predicciones que se realizan sobre el clima futuro (Watson, 2008).

Incluso en este contexto de incertidumbre, cada vez son más los estudios que analizan el efecto que el cambio climático puede llegar a tener sobre las precipitaciones extremas, sobre la frecuencia de las inundaciones y, en consecuencia, sobre el riesgo de inundación (Palmer y Räisänen, 2002; Milly *et al.*, 2002; Kundzewicz y Schellnhuber, 2004). Más aún, aparecen nuevos estudios que tratan de cuantificar el riesgo de inundación actual y los cambios que en este riesgo de inundación se producirán como consecuencia del cambio climático y el desarrollo social (Hall *et al.*, 2003; Hall *et al.*, 2005). El objetivo de estos estudios es ayudar en la gestión de las cuencas hidrográficas aportando información relevante para la toma de decisiones en materia de adaptación y prevención de riesgos futuros (Penning-Rowsell *et al.*, 2005).

La Comunidad Autónoma Vasca ha sufrido a lo largo de la historia inundaciones que han causado numerosos daños en municipios y comarcas. Algunas de ellas han sido extremadamente potentes como la ocurrida

en 1983 que dejó graves desperfectos y cuantiosas pérdidas, tanto materiales como personales, en gran número de municipios: Bidasoa, Urumea, Oria, Urola, Deba, Artibai, Nervión y muchos otros sistemas fluviales de menor rango y provocaron graves inundaciones que anegaron a su paso comercios, viviendas, tierras de cultivo y múltiples construcciones. A todo esto hay que añadir desprendimientos y deslizamientos de suelos que en un buen número de casos cortaron vías de comunicación, dañando seriamente la infraestructura económica regional (Ibiate *et al.*, 2000). En otras ocasiones, las avenidas han sido menos severas como la ocurrida en el año 2008 en la zona de Getxo pero, aun así, las consecuencias económicas se han dejado notar.

El clima de la comunidad, con abundantes lluvias a lo largo de prácticamente todo el año la hacen especialmente sensible a este tipo de acontecimientos.² Ibiate *et al.* (2000) señalan que, en su vertiente cantábrica, el nivel de riesgo puede equipararse al de las cuencas fluviales levantinas, es decir, alcanza niveles mediterráneos pese a encontrarse en un ámbito atlántico. Otros estudios muestran que, en el conjunto de España, la región de Gipuzkoa-Bizkaia tiene uno de los mayores porcentajes de zonas con riesgo de inundación y también soporta uno de los mayores porcentajes en pérdidas económicas provocadas por inundaciones (Benito *et al.*, 2005).

Un análisis cualitativo de los efectos que puede tener el cambio climático en las dife-

² Ibiate *et al.* (2000) describen cinco factores fundamentales para explicar el elevado grado de riesgo de crecidas fluviales y episodios de inundación en la vertiente cantábrica del País Vasco: 1) episodios de fuerte pluviometría, 2) coeficientes de escorrentía altos, 3) tiempos de concentración cortos, 4) ocupación de los cauces y elevada urbanización y 5) desembocadura en el mar Cantábrico.

rentes cuencas hidrográficas españolas muestra que, en la cuenca Norte (a la que pertenece la Comunidad Autónoma Vasca), habrá una mayor irregularidad en la ocurrencia de eventos de precipitaciones extremas debido a un aumento de fenómenos de gota fría. También un aumento de la variabilidad hidrológica puede favorecer la generación de crecidas con caudales punta ocasionalmente extremos (Benito *et al.*, 2005).

El objetivo del presente estudio es obtener datos cuantitativos del riesgo de inundación en la Comunidad Autónoma Vasca y de cómo este riesgo se puede ver afectado por el cambio climático y el desarrollo económico-social. En concreto, se analiza el riesgo de inundación en la cuenca del río Urola que está situada íntegramente en la provincia de Gipuzkoa, una cuenca que ha sufrido diferentes episodios de inundación a lo largo de la historia. La actividad económico-social de la cuenca está vertebrada según el curso del río, como ocurre en la mayoría de las ciudades españolas (García Codron, 2004), lo cual aumenta la vulnerabilidad de la zona ante crecidas fluviales.

Las estimaciones obtenidas pueden ayudar en el desarrollo de estrategias de respuesta ante nuevos escenarios de precipitaciones extremas, tanto en la gestión de recursos como en la ordenación del territorio. Al tratarse de estimaciones cuantitativas, los resultados podrían incorporarse al análisis coste-beneficio o al cálculo de valores actuales de inversiones futuras.

En trabajo está organizado del siguiente modo. En la sección 2 se presenta un modelo de valoración del riesgo de inundación y se definen las curvas de probabilidad-daño que relacionan la frecuencia de una inundación y el daño causado por la misma. La sección 3 analiza el caso de la

cuenca del río Urola y presenta estimaciones del riesgo de inundación en tres escenarios diferentes: el escenario base que describe el riesgo actual de inundación, el escenario base proyectado que incorpora el desarrollo económico y el cambio social a la estimación del riesgo y, por último, el escenario climático que analiza el posible efecto del cambio climático en el riesgo de inundación. La última sección recoge las conclusiones del análisis.

2. VALORACIÓN DEL RIESGO DE INUNDACIÓN

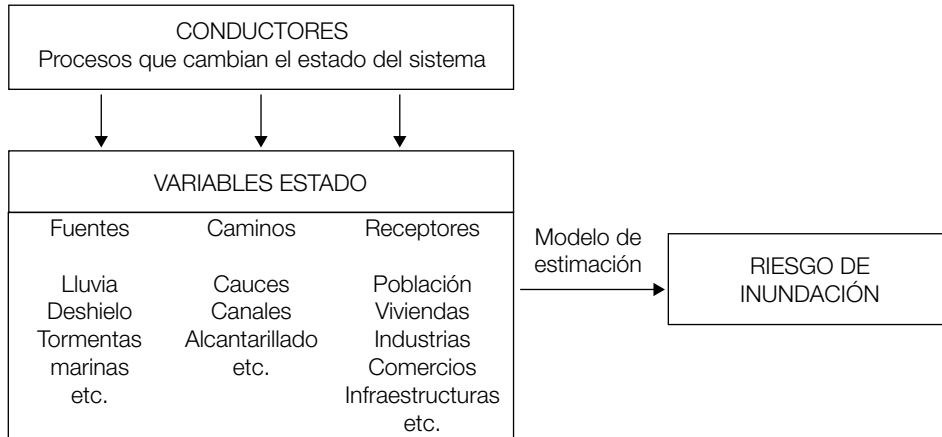
2.1. El modelo SPR

Uno de los marcos más utilizados para analizar riesgos ambientales es el modelo SPR (*Source-Pathway-Receptor*) que está basado en la relación entre el origen (fuente) de un determinado evento ambiental, el mecanismo (camino) a través del cual se transmite y los elementos (receptores) que sufren algún impacto, impacto que puede ser positivo o negativo. Entre los riesgos ambientales que pueden estudiarse con este modelo están las inundaciones (Hall *et al.*, 2003; Evans *et al.*, 2004). El gráfico n.º 1 recoge un esquema del problema de las inundaciones según el modelo SPR.

El origen de una inundación puede encontrarse en diferentes fuentes. En general, se trata de fenómenos relacionados con la climatología como las lluvias, las tormentas o el deshielo. A través de los cauces fluviales, los canales o los sistemas de alcantarillado, el agua proveniente de las distintas fuentes encuentra su camino, fluye y, en ocasiones, se desborda afectando a personas, industrias, construcciones o sistemas naturales, receptores muy diversos que su-

Gráfico n.º 1

El problema de las inundaciones



Fuente: Adaptado de Hall *et al.*, 2003.

fren de un modo u otro las consecuencias de una inundación. Fuentes, caminos y receptores forman el denominado sistema de inundaciones (Hall *et al.*, 2003, Evans *et al.*, 2004). Así, dependiendo de las fuentes (por ejemplo, lluvias más o menos intensas), de los caminos (por ejemplo, cauces de los ríos más o menos limpios) y de los receptores (por ejemplo, viviendas o naves industriales) los daños ocasionados por una inundación serán bien diferentes. Como todos los desbordamientos no son iguales, ni ocurren con la misma frecuencia ni tienen las mismas consecuencias, para evaluar el riesgo de inundación es necesario combinar las consecuencias (caminos y receptores) de una inundación con la probabilidad (fuentes y caminos) de que esta inundación ocurra.

Las variables incluidas en el modelo SPR muestran que el riesgo de inundación no es inamovible. Existen fenómenos que pueden

cambiar el estado de un sistema de inundaciones bien afectando a las fuentes, a los caminos, a los receptores o a una combinación de estos factores, modificando el riesgo de inundación. Son los denominados conductores (Hall *et al.*, 2003, Evans *et al.*, 2004). Éstos son muchos y diversos por ejemplo cambios en el régimen de precipitaciones, decisiones urbanísticas, cambios en las prácticas agrarias o la mera implantación de sistemas de alarma. El problema de las inundaciones consiste en evaluar (cuantitativamente) el riesgo de inundación en una determinada zona así como la posible modificación de este riesgo por cambios en alguno de los conductores, sobre todo por cambios en conductores cuyo control está fuera del alcance de los gestores de las cuencas y a los que es necesario adaptarse. Éste es el caso de las potenciales modificaciones en el riesgo de inundación por el efecto del cambio climático.

Identificadas las variables que influyen en el riesgo de inundación (fuentes, caminos, receptores y conductores), es necesaria la estimación cuantitativa del riesgo, tanto en términos físicos como monetarios.

2.2. Estimación del riesgo

El riesgo de inundación se expresa tradicionalmente como una combinación de la probabilidad o frecuencia de inundación y el daño que dicha inundación puede causar (Hall *et al.*, 2005, Penning-Rowell *et al.*, 2005). Por lo tanto, un modelo de estimación del riesgo de inundación debe considerar ambas cuestiones. La probabilidad de inundación depende básicamente de los fenómenos hidrológicos que la causan mientras que el daño generado depende de los elementos que se hayan visto expuestos a dicha inundación y de las características de la misma (velocidad del agua, altura alcanzada por la lámina de agua, duración, acarreo...).

Un suceso hidrológico (fuente) que potencialmente puede provocar una inundación se caracteriza por su caudal y su período de retorno. El período de retorno señala el número de años en que se espera que medianamente se repita un determinado caudal o un caudal mayor. Si un determinado evento hidrológico tiene un período de retorno de t_r años, la probabilidad de que dicho evento se presente o sea superado en un determinado año es $p_r = \frac{1}{t_r}$. Cuanto mayor sea el período de retorno de una inundación, más extremo es el evento que la ha causado y menor es la probabilidad anual de que ocurra. Cada uno de estos sucesos extremos genera una mancha de inundación, la extensión de terreno que queda cubierta por el agua, determinada por la capacidad de un cauce fluvial (camino) y de sus estructuras hidráulicas para admitir el caudal correspondiente. Los eventos con

menor probabilidad anual son los que generan mayores manchas de inundación.

Todos los elementos (receptores) que se encuentren en la mancha de inundación pueden sufrir daños, tanto directos como indirectos, como consecuencia de dicha inundación. Entre los elementos que pueden sufrir daños por la inundación se encuentran las propiedades residenciales, las propiedades no-residenciales, los edificios con valor histórico-cultural y la población.

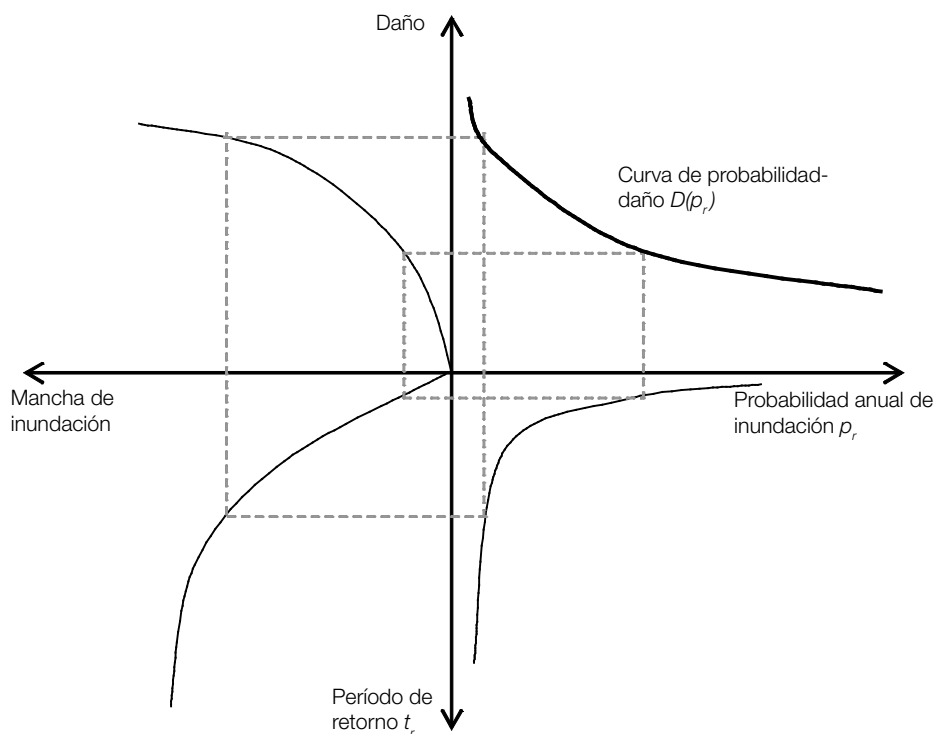
Así, existe una relación entre cada suceso hidrológico y las consecuencias (físicas o monetarias) del mismo. Como cada suceso hidrológico está caracterizado por su período de retorno que se relaciona con su probabilidad anual de ocurrencia (cuadrante 3 gráfico n.º 2) y con su mancha de inundación (cuadrante 4 gráfico n.º 2), y ésta última determina los elementos en riesgo y los daños (cuadrante 2 gráfico n.º 2), podemos relacionar estos daños o consecuencias de una inundación con la probabilidad anual de que dicha inundación ocurra, obteniendo una curva de probabilidad-daño, $D(p_r)$ (cuadrante 1, gráfico n.º 2).

El daño anual esperado por inundación, R , se define como el producto de la probabilidad anual de una inundación y sus consecuencias y sumado para cada una de las posibles inundaciones (Hall *et al.*, 2005). Dada la curva de probabilidad-daño estimada para una determinada zona, el daño anual esperado por inundación está dado por:³

$$R = \int_0^1 p_r D(p_r) dp_r$$

³ Hall *et al.* (2005) proponen una fórmula general para el cálculo del daño anual esperado por inundación en un zona como $R = \int_0^{y_{\max}} p(y) D(y) dy$ donde $y_{\max}$ es la profundidad mayor que puede alcanzar una inundación en la zona, $p(y)$ es la probabilidad de inundación según la profundidad y y $D(y)$ el daño causado por una inundación de profundidad y .

Gráfico n.º 2
Curva de probabilidad-daño



Fuente: Adaptado de Penning-Rowsell *et al.*, 2005.

Cuando se toman medidas para modificar la frecuencia de las inundaciones, para disminuir el impacto de las mismas o para ambas cosas, se modifican las curvas de probabilidad-daño de la zona y, en consecuencia, el daño anual esperado por inundación.

2.3. Escenarios de estimación

El cambio climático puede modificar el riesgo de inundación, al afectar al número

de episodios de caudal extraordinario que se producen en un año, a su frecuencia interanual, a la duración de las crecidas o a los caudales punta (Benito *et al.*, 2005). Estos cambios pueden desplazar las curvas de probabilidad-daño de una determinada zona y modificar el daño anual esperado por inundación. Si la modificación del riesgo es lo suficientemente significativa, puede justificarse la adopción de nuevas medidas contra las inundaciones que traten de disminuir los riesgos.

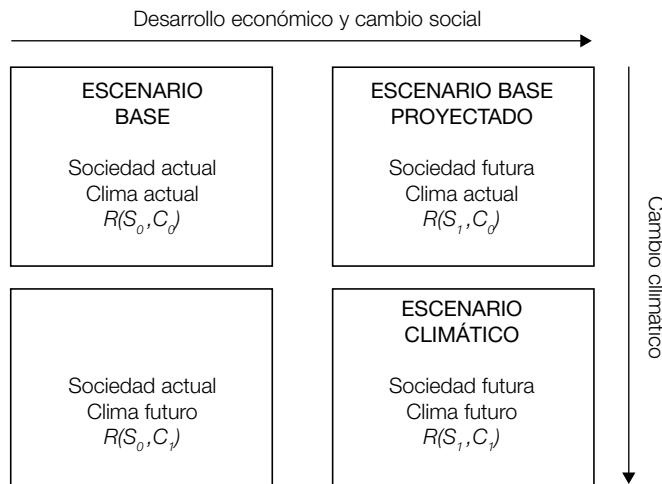
Además del cambio climático, el desarrollo económico y social de una determinada zona también puede modificar el riesgo de inundación al variar el número o el tipo de receptores expuestos al riesgo. Por ello, un análisis de los riesgos, actuales y futuros, de inundación debe considerar tanto el efecto de un futuro cambio en el clima como el efecto del futuro desarrollo económico y social (UK *Climate Impacts Programme*, 2001).

Para estudiar el cambio en el riesgo de inundación por efecto del cambio climático y diferenciarlo del cambio en el riesgo de inundación por efecto del desarrollo económico y cambio social, las estimaciones pueden realizarse en tres escenarios diferentes: escenario base, escenario base proyectado y escenario climático. El prime-

ro valora el riesgo de inundación en las condiciones actuales, tanto climáticas como sociales. El segundo estima el riesgo si las condiciones del clima no varían pero se produce el normal crecimiento y desarrollo social. Por último, el tercer escenario estima el riesgo de inundación futuro si hay un cambio tanto en las condiciones socio-económicas como en las climáticas. Un resumen de los posibles escenarios de estimación se recoge en el gráfico n.º 3.

Sea S_t el conjunto de variables que describe la situación social de una determinada zona y sea C_t el conjunto de variables climáticas que describe el clima de la zona. El riesgo de inundación en el escenario base viene dado por $R(S_0, C_0)$ donde el subíndice 0 indica la situación actual. El riesgo de inundación en el escenario climático viene dado

Gráfico n.º 3

Escenarios de estimación

Fuente: Adaptado de Boyd y Hunt, 2006.

por $R(S_1, C_1)$ donde el subíndice 1 indica la situación futura. El riesgo de inundación en el escenario base proyectado combina la situación actual del clima con el cambio futuro de la sociedad, $R(S_1, C_0)$. Así, la diferencia entre la estimación del riesgo en el escenario base proyectado y en el escenario base,

$$\Delta[R(S_0, C_0) : S_0 \rightarrow S_1] = R(S_1, C_0) - R(S_0, C_0),$$

indica el cambio en el riesgo de inundación provocado por el desarrollo económico y el cambio social. De modo similar, la diferencia entre la estimación del riesgo en el escenario climático y en el escenario base proyectado, es decir,

$$\Delta[R(S_1, C_0) : C_0 \rightarrow C_1] = R(S_1, C_1) - R(S_1, C_0)$$

indica el cambio en el riesgo de inundación por el efecto del cambio climático (Boyd y Hunt, 2006).

3. APLICACIÓN: LA CUENCA DEL RÍO UROLA

En la Comunidad Autónoma Vasca existen numerosos sistemas fluviales como por ejemplo Bidasoa, Urumea, Oria, Urola, Deba, Artibai o Nervión que han vertebrado en gran medida el desarrollo urbano e industrial de la Comunidad. Todos ellos han experimentado a lo largo de la historia episodios de desbordamientos más o menos importantes que han generado pérdidas económicas y perturbaciones en la vida de los habitantes de sus respectivas cuencas (Ibáñez *et al.*, 2000). Las mayores pérdidas ocasionadas por las inundaciones se producen, en general, en los núcleos urbanos e industriales donde hay un mayor número de elementos expuestos al riesgo (García Codron, 2004).

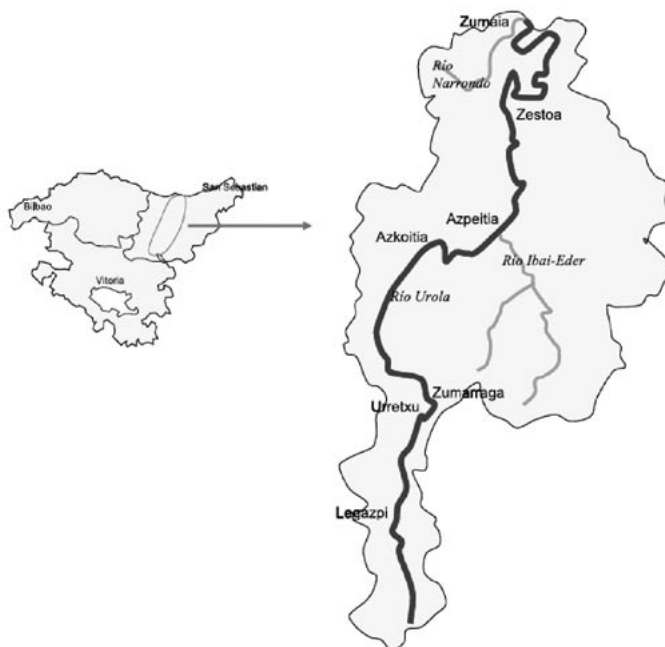
En el presente análisis nos vamos a centrar en el estudio del riesgo de inunda-

ción en uno de los numerosos sistemas fluviales en los que se divide la Comunidad Autónoma Vasca, la cuenca del río Urola. En concreto, centraremos el análisis en el riesgo de inundación en los principales municipios situados en los márgenes de este río y en cómo este riesgo puede modificarse por el futuro desarrollo económico y social de la zona así como por las modificaciones en el régimen de precipitaciones como consecuencia del cambio climático.

La cuenca del río Urola está situada íntegramente en la provincia de Gipuzkoa. El río principal de esta cuenca, del cual recibe el nombre, es el río Urola que nace en la vertiente norte de la Sierra de Aitzkorri, en el límite entre Álava y Gipuzkoa, por la unión de numerosas regatas y arroyos. El río Urola atraviesa mansamente Legazpi, Zumarraga, Urretxu y Azkoitia y, a partir de Azpeitia, aumenta su caudal al recibir las aguas del Ibai-Eder. Al pasar por Zestoa se abre en amplios meandros para desembocar en la ría de Zumaia donde se junta con el río Narrondo. Un sencillo plano de esta cuenca se presenta en el gráfico n.º 4. El río Urola tiene una longitud de 55 km y la extensión de su cuenca es aproximadamente de 337 km². Sólo los municipios de Azkoitia y Azpeitia superaban en el año 2006 los 10.000 habitantes según datos de EUSTAT. El sector industrial, fundamentado en los sectores del metal, madera, textil y alimentación,⁴ y el

⁴ Los principales núcleos han contado con uno o varios subsectores: metal (Zumarraga, Legazpi, Azpeitia, Zumaia), madera (Azpeitia, Zestoa), alimentación (Azkoitia, Zumaia), textil (Urretxu). Así mismo destaca la aparición de numerosas pequeñas industrias que dan empleo a gran parte de la población activa en el sector industrial, sobre todo en los municipios de Zumarraga y Zestoa (Red de vigilancia de la calidad de las aguas y del estado ambiental de los ríos de la CAPV, 2001).

Gráfico n.º 4

La cuenca del río Urola

Fuente: Elaboración propia.

sector servicios son los que mayor peso tienen en la economía de la zona.

Existen varias referencias históricas sobre inundaciones acontecidas en esta cuenca. Algunos de los datos más antiguos de los que se tiene referencia hablan de una fuerte avenida en el río Urola en abril de 1594, avenida que ocasionó inundaciones, por ejemplo, en la villa de Legazpi. Más recientes son los datos de la avenida de agosto de 1983 así como algunas otras posteriores en los años 80 y 90.⁵

⁵ Estudio de inundabilidad en poblaciones en cuencas intracomunitarias de la CAPV. Legazpi,

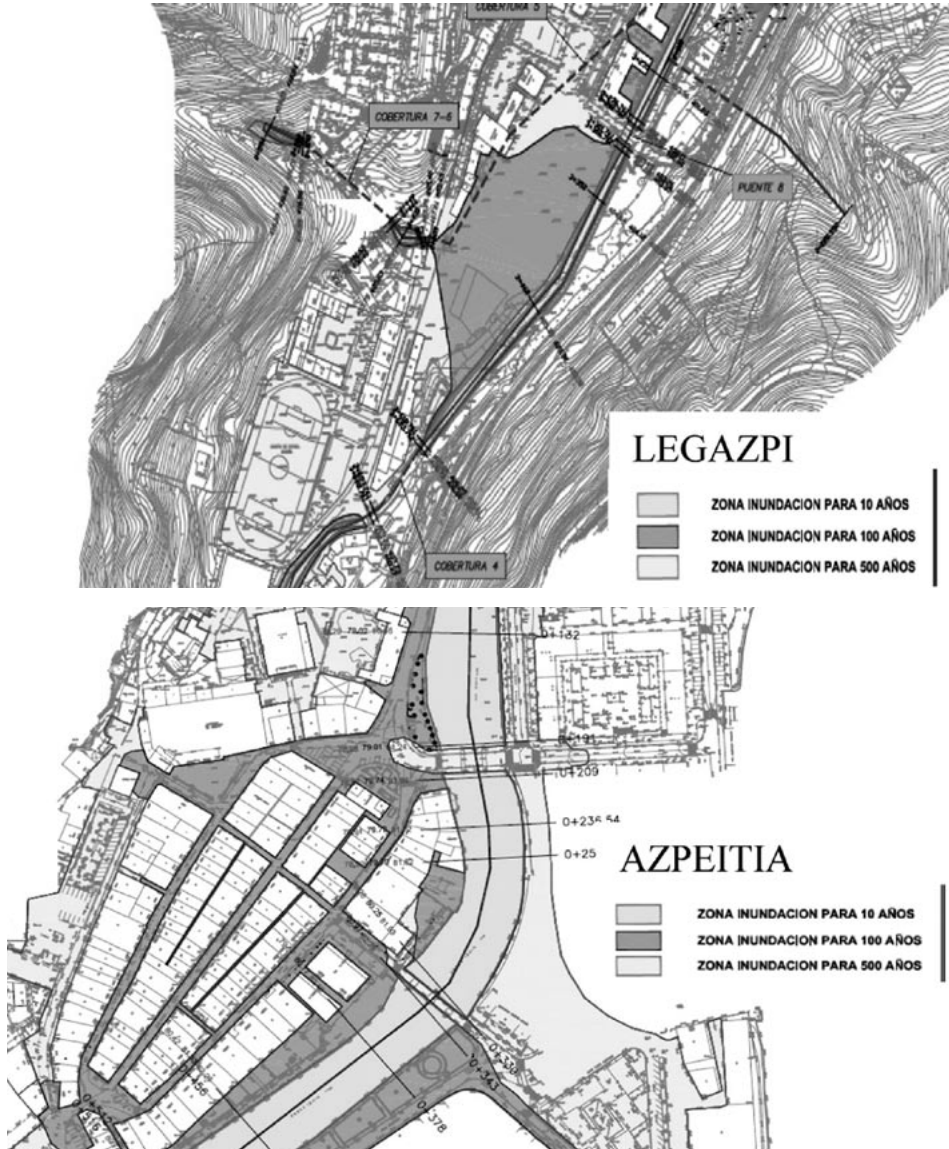
3.1. La probabilidad: estudios hidráulicos

En la cuenca del río Urola, la variabilidad de las precipitaciones a lo largo del año, con valores altos en la época de diciembre-enero y otro máximo en abril así como la morfología de la cuenca, condicionan el régimen hidrológico que es de tipo torrencial, con caudales altos en invierno y primavera y bajos en verano. Por otra parte, también existe una elevada variabilidad interanual de las aportaciones.

Existen diversos estudios hidráulicos sobre la inundabilidad de los municipios atravesados por el río Urola.

Gráfico n.º 5

Detalles de manchas de inundación



Fuente: Estudios hidráulicos. Dirección General de Aguas. Gobierno Vasco.

dos por el río Urola y sus afluentes principales, el río Ibai-Eder y el río Narrondo. Estos

estudios se han realizado bajo la supervisión de la Dirección de Aguas del Departamento

de Ordenación del Territorio y Medio Ambiente del Gobierno Vasco utilizando el programa HEC-RAS (*Hydrologic Engineering Center River Analysis System*) desarrollado por la *US Army Corps of Engineers*. En cada uno de estos estudios se analizan las características de avenidas con diferente período de retorno: el caudal, la altura alcanzada por la lámina de agua, la velocidad del agua y la extensión de la mancha de inundación.

Es importante destacar que los resultados obtenidos de las simulaciones de estos estudios se han obtenido bajo la hipótesis de tener unas condiciones de desagüe óptimas en las distintas secciones del río y en sus estructuras hidráulicas. Por lo tanto, debe tenerse en cuenta que se trata de una representación del comportamiento hidráulico ideal para el que no se han considerado los efectos que pudieran tener fenómenos tales como acarreos, arrastres o movilidad del lecho que podrían alterar los resultados obtenidos.⁶ Para cada municipio disponemos de información completa (caudal, altura de la lámina de agua, velocidad y extensión de la mancha de inundación) sobre tres posibles inundaciones con períodos de retorno 10, 100 y 500 años, es decir, inundaciones con tres probabilidades anuales distintas. En el gráfico n.º 5 pueden verse detalles de las manchas de inundación para los municipios de Legazpi y Azpeitia. El siguiente paso consiste en relacionar las man-

chas de inundación y las características de la misma (velocidad, altura, caudal) con los daños que puede causar.

3.2. Las consecuencias: evaluación de impactos

Una vez que ya disponemos de las manchas de inundación, identificamos los elementos expuestos a las riadas. Para ello, cruzamos los mapas de manchas de inundación con mapas de información geográfica de la zona (un sistema similar es propuesto por Hall *et al.*, 2003). El Departamento de Urbanismo y Ordenación del Territorio de la Comunidad Autónoma Vasca ha desarrollado en los últimos años el proyecto UDALPLAN, un modelo GIS que contiene información de la zonificación general del suelo de la comunidad distinguiendo entre suelo residencial, suelo para actividades económicas, suelo para sistemas generales y suelo no-urbanizable. Asimismo, UDALPLAN proporciona información detallada sobre cada zona residencial (número de hectáreas, número de viviendas actuales y proyectadas) y sobre cada zona de actividades económicas (número de hectáreas, suelo ocupado y suelo vacante).

Esta información, junto con las estadísticas demográficas de la Comunidad Autónoma Vasca facilitadas por EUSTAT, nos permite identificar las propiedades (residenciales y no residenciales) así como la población en riesgo en cada una de las posibles inundaciones. Los impactos que valoramos son tanto directos como indirectos. Resumimos los posibles impactos en el cuadro n.º 1 donde también señalamos las fuentes utilizadas para la valoración monetaria de dichos impactos.⁷

⁶ Los estudios hidráulicos utilizados en el análisis de la cuenca del río Urola son los siguientes: (1) Estudio de inundabilidad en poblaciones en cuencas intracomunitarias de la CAPV. Legazpi, (2) Delimitación de zonas inundables de núcleos de población en cuencas internas de la CAPV. Cuenca del río Urola (U.H. Urola). Municipios de Urretxu, Zumarraga y Azkoitia, (3) Estudio de inundabilidad en poblaciones en cuencas intracomunitarias de la CAPV. Azpeitia, (4) Delimitación de zonas inundables de núcleos de población en cuencas internas de la CAPV. Cuenca del río Urola (U.H. Urola). Municipios de Zestoa, Aizarnazabal y Zumaia. Los estudios (1) y (3) fueron realizados por SENER mientras que los estudios (2) y (4) fueron realizados por Cinsa.

⁷ Para un análisis más exhaustivo de las fuentes y métodos de estimación utilizados ver Osés-Eraso (2008).

En los daños potenciales a inmuebles distinguimos entre los daños directos y los daños indirectos. Los daños directos son los desperfectos causados por el agua en los diferentes edificios y sus componentes, desperfectos que serán diferentes en pro-

Cuadro n.º 1
Evaluación de impactos

Impacto	Información utilizada	Fuente
Impactos directos s/ propiedad		
Propiedad residencial	Curvas profundidad-duración-daño para diferentes tipos de viviendas, períodos de construcción y clases sociales	Penning-Rowsell, 2005
Propiedad no-residencial	Valores medios de estructuras, equipamiento y existencias de diferentes propiedades no-residenciales	Penning-Rowsell, 2005
Patrimonio cultural	Estimación de la pérdida de bienestar por aumentos de riesgo de inundación en edificios de interés cultural (valoración contingente)	Taylor, 2006
Impactos indirectos s/propiedad		
Propiedad residencial	Alojamiento temporal de familias que tienen que abandonar temporalmente sus hogares. Uso adicional de energía (des-humidificadores)	DETR, 1999
Propiedad no-residencial	Pérdida de beneficios por cierre temporal de negocios.	Penning-Rowsell, 2005
Impactos s/salud		
Muertos y heridos	Riesgo para la vida, hipotermia, heridas durante o inmediatamente después de la inundación. Índice de riesgo, vulnerabilidad del área, tasa de fatalidad	DEFRA, 2003, 2006
Ansiedad	Daño a largo plazo psicológico o físico (p. ej. ansiedad durante lluvias intensas, aumento de los niveles de estrés, depresión, recuerdos...) (Valoración contingente)	DEFRA, 2004a, 2004b
Otros impactos		
Costes de emergencias	Costes extra para los implicados en la respuesta a la inundación y el proceso de recuperación.	Penning-Rowsell, 2005
Efectos de segundo orden	Interrupciones en el funcionamiento de la economía regional o subregional.	Penning-Rowsell, 2005

DETR: UK Department for Environmental, Transport and Regions.

DEFRA: UK Department for Environment, Food and Rural Affairs.

Fuente: Elaboración propia.

piedad residencial, en propiedad no-residencial y en inmuebles con especial valor histórico y cultural. Los daños indirectos relacionados con la propiedad son, por un lado, los causados en la propiedad residencial por desalojos temporales como consecuencia de la inundación o el consumo adicional de electricidad por el uso de deshumidificadores tras la inundación para reacondicionar las viviendas. Por otro lado, hay daños indirectos relacionados con la propiedad no-residencial si, como consecuencia de la inundación, la actividad debe interrumpirse durante algún tiempo.

Otros importantes daños a valorar son los relacionados con la población y su salud. También en este punto podemos distinguir entre daños directos, muertes y lesiones en el momento de la inundación, e indirectos, problemas de ansiedad que surgen a medio y largo plazo como consecuencia de recordar los episodios vividos, la preocupación porque el suceso vuelva a repetirse o el estrés causado por las actividades post-inundación como puede ser el trato con las compañías de seguro y la presentación de reclamaciones por los daños (materiales o personales) sufridos.

Finalmente, hay otros impactos que deben valorarse como los relacionados con la perturbación en el transporte por cortes temporales de vías de comunicación⁸ y los impactos en los servicios de emergencia cuya ocupación se multiplica durante e inmediatamente después de la inundación. También aparecen efectos denominados de segundo orden si la inundación llega a provocar perturbaciones en la economía local o regional.

⁸ La estimación de los costes ocasionados por cortes en las vías de comunicación y perturbaciones en el transporte han quedado fuera del presente análisis por falta de datos.

3.3. Estimación: escenario base

Para cada uno de los siete municipios analizados, realizamos una estimación de la curva de probabilidad-daño tomando como base las estimaciones de daño obtenidas para cada uno de los períodos de retorno analizados. Una vez estimadas las curvas de probabilidad-daño, calculamos el correspondiente daño anual esperado, $R(S_0, C_0)$. Los resultados de estas estimaciones se resumen en el gráfico n.º 6.

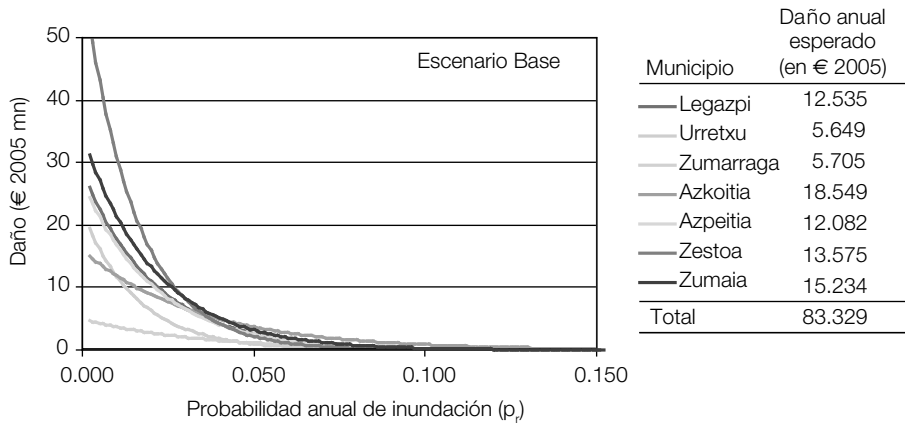
Observamos que algunos municipios con un daño anual esperado similar se enfrentan a curvas de probabilidad-daño bien diferentes. Es el caso de Urretxu y Zumarraga. Para períodos de retorno suficientemente bajos, Urretxu tiene uno de los menores daños estimados en toda la cuenca. Sin embargo, para períodos de retorno más altos, los daños estimados por inundación aumentan de forma considerable. Por el contrario, en Zumarraga el daño ocasionado por las inundaciones es mayor que el de Urretxu para períodos de retorno bajos pero, al contrario de lo que ocurre en este municipio, no muestra grandes variaciones ante períodos de retorno más altos.

Estas diferentes curvas de probabilidad daño llevan a daños anuales esperados de inundación similares pero pueden necesitar medidas diferentes para reducir este daño. Urretxu puede estar interesado en medidas que consigan evitar daños de inundaciones de alto período de retorno mientras que Zumarraga puede apostar por medidas menos ambiciosas que prevengan los daños de inundaciones de período de retorno más bajo.

Análisis similares pueden realizarse para el resto de municipios. Por ejemplo, el municipio de Azkoitia presenta el daño anual

Gráfico n.º 6

Riesgo de inundación en el escenario base
(en millones de euros 2005)



Fuente: Elaboración propia.

esperado más elevado de todos los municipios analizados. Aunque su curva de probabilidad-daño es una de las que menor pendiente tiene, es el municipio con mayores pérdidas estimadas para períodos de retorno bajos; lo cual coloca el daño anual esperado de inundación por encima de los valores alcanzados en otros municipios con curvas de probabilidad-daño de mayor pendiente. Para estos municipios las pérdidas estimadas para períodos de retorno alto se disparan como es el caso de Zumaia, Azpeitia o Legazpi.⁹

⁹ De las estimaciones obtenidas, llama la atención tanto la curva de probabilidad-daño como el correspondiente daño anual esperado obtenido para el municipio de Zestoa que es el más pequeño de los aquí analizados. Las estimaciones obtenidas para este municipio están muy influenciadas por la situación del balneario del municipio. Si eliminamos del análisis la zona del balneario, la curva de probabilidad-daño tiene una pendiente mucho menos pronunciada y el

3.4. Estimación: escenario base proyectado

El desarrollo económico y el cambio social pueden afectar de forma notable al riesgo de inundación por variación en las infraestructuras, por la aparición de nuevas zonas urbanizadas o por la modificación de la capacidad de respuesta de la sociedad. El objetivo de presente estudio es analizar el efecto de estos cambios económico-sociales en el riesgo de inundación a largo plazo. El horizonte temporal que vamos a considerar es la década de 2080.

Para la Comunidad Autónoma Vasca no se han desarrollado escenarios socioeconó-

daño anual esperado pasa a ser uno de los más bajos de la cuenca.

micos tan detallados como los que existen en otros lugares como Reino Unido (*UK Climate Impacts Programme*, 2001). Existen, sin embargo, Planes Territoriales Parciales (PTPs) que desarrollan las directrices de ordenación territorial de la Comunidad Autónoma Vasca. El horizonte temporal de estos PTP es más corto que el objetivo del presente estudio (2020 frente a 2080) pero presentan interesantes diagnósticos sobre el estado actual de la zona, su situación socioeconómica y los objetivos de ordenación hasta 2020. Por ello, para construir supuestos socioeconómicos en los que basar nuestro estudio utilizaremos tanto los PTP como las bases estadísticas disponibles para el País Vasco (EUSTAT). No hay un PTP que abarque toda la cuenca del río Urola pero sí alguno de los municipios que la forman. Así, el Plan Territorial Parcial del Área Funcional de Zarautz-Azpeitia (Urola Costa) contiene

información sobre Azkoitia, Azpeitia, Zestoa y Zumaia. Por otro lado, el Plan Territorial Parcial del Área Funcional de Beasain-Zumarraga (Goierri) contiene información sobre los municipios del Alto Urola, Legazpi, Zumarraga y Urretxu.

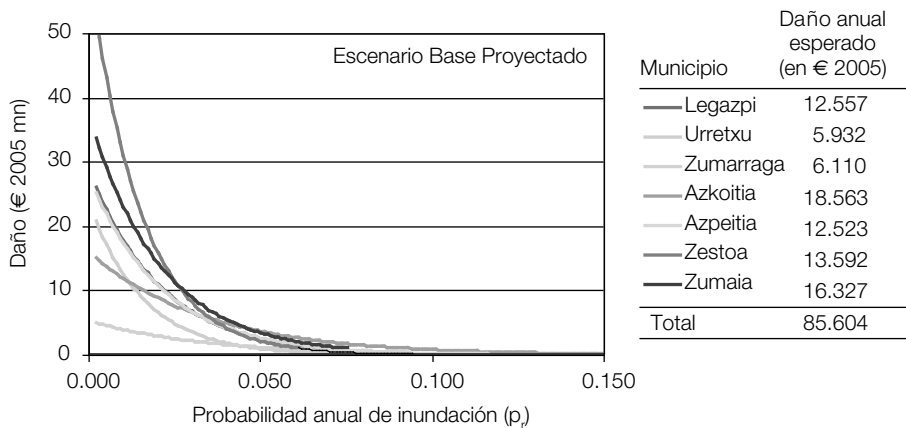
Las variables socioeconómicas con las que vamos a trabajar son población, vivienda y actividades económicas. Las dos primeras, población y vivienda, determinarán en gran medida el tamaño medio por hogar y la población en las zonas inundables. Estas variables describen de forma directa parte de los elementos físicos en riesgo de inundación.

Tras desarrollar diversos escenarios de crecimiento de población, viviendas y actividades económicas y analizar las consecuencias sobre el riesgo de inundación, elegimos un escenario medio como nuestro

Gráfico n.º 7

Riesgo de inundación en el escenario base proyectado

(en millones de euros 2005)



Fuente: Elaboración propia.

escenario base proyectado.¹⁰ Estos resultados medios se muestran en el gráfico n.º 7 donde aparecen tanto las curvas de probabilidad-daño estimadas como el daño anual esperado de las potenciales inundaciones en el escenario base proyectado, $R(S_0, C_0)$.

Si comparamos el daño esperado por inundación estimado para el conjunto de los municipios estudiados en el escenario base con el obtenido para el escenario base proyectado, observamos un aumento del 2,73% (de 83.329 a 85.604 euros). Este aumento del daño esperado por inundación es debido al desarrollo económico y social previsto en la cuenca. A escala municipal, el cambio en el daño esperado por inundación es bajo para los municipios de Legazpi, Azkoitia o Zestoa donde el aumento de daño no alcanza ni el 0,5%. En otros municipios como Zumaia o Urretxu, el aumento es mayor: alcanza e incluso supera un aumento del daño anual esperado del 5%. En general, el cambio sobre el escenario base es pequeño y casi imperceptible si observamos los cambios en las curvas de probabilidad-daño. Esto se debe a que gran parte de las áreas de estos municipios que se encuentran en las potenciales manchas de inundación ya están urbanizadas y ocupadas en la actualidad y existe escasa posibilidad de aumentar los elementos con riesgo de sufrir daños por crecidas fluviales.

¹⁰ Se han desarrollado un total de 19 escenarios socioeconómicos para observar la importancia relativa de algunas de las variables socioeconómicas más relevantes al estudiar las consecuencias de una inundación. Por una lado la evolución de la población expuesta al riesgo (crecimiento sostenido, estancamiento y disminución). Por otro lado, la modificación de las zonas residenciales en las áreas inundables donde se ha tenido en cuenta los límites físicos al crecimiento de viviendas dada la alta ocupación ya existente en las zonas cercanas al río en toda la cuenca. Estas mismas cuestiones se han considerado en el análisis de la posible modificación de las actividades industriales.

3.5. Estimación: escenario climático

La incertidumbre está presente en todas las predicciones que se realizan sobre la tendencia del clima futuro, tanto en temperaturas como en precipitaciones pero, sobre todo, en este último aspecto. La evidencia histórica muestra que las crecidas no se distribuyen de forma homogénea en el tiempo sino que existen períodos con una concentración anómala de eventos extremos que responden a situaciones climáticas cambiantes (Benito *et al.*, 2005). En este contexto, existen algunas predicciones sobre cómo alterará el cambio climático el volumen de precipitaciones mensuales pero estas predicciones no tienen en cuenta la concentración de lluvia en períodos temporales cortos. Ninguno de los modelos de circulación atmosférica global es capaz de generar escenarios fiables sobre los cambios esperables en relación a los eventos extremos (Benito *et al.*, 2005) si bien algunos estudios (Kundzewicz y Schellhuber, 2004) señalan que en las regiones en las que la precipitación total aumentó en el siglo XX hubo también aumentos pronunciados en sucesos de precipitación extrema. Más aún, se han documentado aumentos en sucesos extremos en regiones en las que las precipitaciones han disminuido o han permanecido constantes.

La posibilidad de que aumenten los sucesos extremos, con precipitaciones más concentradas e intensas en algunos momentos del año, como consecuencia del cambio climático generado por la concentración de emisiones antropogénicas de gases de efecto invernadero, es uno de los factores más relevantes al estudiar el riesgo de inundación en el futuro. La mayoría de los modelos de predicciones meteorológicas no aportan predicciones sobre estos

hechos aunque existen algunos intentos. Palmer y Räisänen (2002) y Milly *et al.* (2002) presentan análisis orientados a la cuantificación del riesgo de precipitaciones extremas en un contexto de cambio climático. Centran sus estudios en las grandes cuencas hidrográficas pero de los datos que aportan pueden sacarse algunas ideas para el caso que nos ocupa.

Palmer y Räisänen (2002) definen un suceso extremo E_n (del inglés *event*) como aquel que ocurre si la precipitación estacional en una determinada ubicación es mayor que la media de precipitaciones más n veces la desviación típica. Calculan la probabilidad de que un suceso E_2 ocurra en dos escenarios distintos, el escenario de control y el escenario invernadero. En el primero, suponen que la concentración de CO_2 se va a mantener constante en niveles del siglo XX; en el segundo, consideran un crecimiento anual del 1% en la concentración de CO_2 , es decir, la concentración de CO_2 se dobla en el siglo XXI respecto al siglo XX.¹¹

Según este estudio, en el norte de España la probabilidad anual de que ocurra un suceso extremo de tipo E_2 cambiará de un 2,5% en el escenario de control (situación actual, C_0) a un 5% en el escenario invernadero (situación futura, C_1); es decir, la probabilidad de que ocurra un suceso extremo de este tipo se duplica. Un suceso extremo de probabilidad anual 2,5% corresponde a una inundación con un período de retorno de aproximadamente 40 años que, con el cambio climático, pasaría a tener un período de retorno de tan solo 20 años. Desgraciadamente, Palmer y Räisänen (2002) no presentan datos sobre el cambio que expe-

rimentarían sucesos con otros períodos de retorno.

Por su parte, Milly *et al.* (2002) estudian también el cambio en el riesgo de precipitaciones extremas como consecuencia de las emisiones antropogénicas de CO_2 . Del análisis que realizan acerca de 30 cuencas hidrográficas concluyen que la frecuencia de inundaciones con período de retorno menor de 100 años parece que no va a aumentar de manera significativa. Sólo los fenómenos más extremos (períodos de retorno superiores a 100 años) parece que aumentarán su probabilidad.

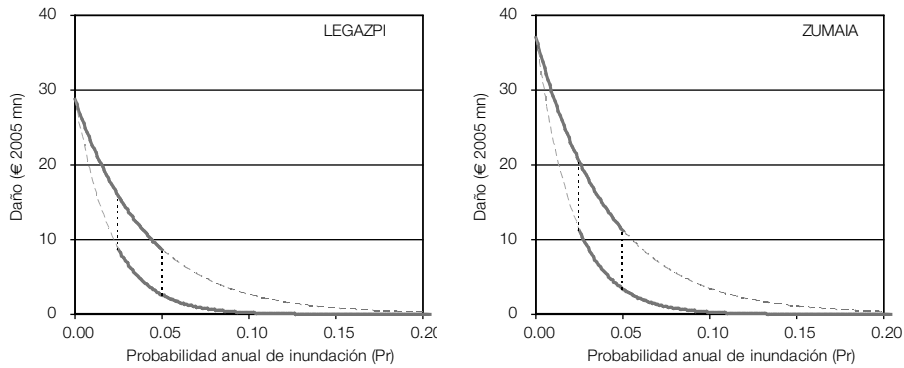
A la vista de estos análisis, consideramos que en nuestro escenario climático la modificación en el riesgo de inundación se produce a través de una modificación en la frecuencia de las inundaciones, pero asumimos que no todos los fenómenos de precipitaciones extremas modifican su frecuencia de la misma forma. Por un lado, y siguiendo los cálculos de Palmer y Räisänen (2002), asumimos que la probabilidad de que ocurran inundaciones con períodos de retorno de 40 años o más se duplica mientras que, siguiendo las estimaciones más conservadoras de Milly *et al.* (2002) consideramos que la probabilidad de inundaciones con período de retorno menor de 40 años no se modifica.

Este cambio en la probabilidad de ocurrencia de cada inundación modifica sustancialmente las curvas de probabilidad-daño de cada uno de los municipios objeto de análisis. Así, para períodos de retorno superiores a 40 años, la curva de probabilidad-daño sufre un desplazamiento mientras que para períodos de retorno inferiores la curva de probabilidad-daño coincide con la que habíamos calculado para el escenario base proyectado. El gráfico n.º 8 mues-

¹¹ Este escenario de cambio climático es similar al escenario B2 propuesto por SRES.

Gráfico n.º 8

Curvas de probabilidad-daño en el escenario climático
(en millones de euros 2005)



Fuente: Elaboración propia.

Cuadro n.º 2

Daño anual esperado. Resumen de las estimaciones
(en euros 2005)

Municipio	Escenario base (EB)	Escenario base proyectado (EBP)	Escenario climático (EC)
Legazpi	12.535	12.557 0,17% ^a	20.771 65,41% ^b
Urretxu	5.649	5.932 5,00% ^a	12.152 104,85% ^b
Zumarraga	5.705	6.110 7,09% ^a	7.600 24,39% ^b
Azkoitia	10.549	18.563 0,07% ^a	22.994 23,87% ^b
Azpeitia	12.082	12.523 3,65% ^a	20.490 63,62% ^b
Zestoa	13.575	13.592 0,12% ^a	29.057 113,79% ^b
Zumaia	15.234	16.327 7,17% ^a	26.930 64,94% ^b

^a Cambio en el daño anual esperado por el desarrollo económico y el cambio social (EBP-EB)

^b Cambio en el daño anual esperado por el cambio climático (EC-EBP)

Fuente: Elaboración propia

tra los cambios experimentados por la curva de probabilidad-daño para dos de los siete municipios estudiados, Legazpi y Zumaia. La modificación que sufre la curva de probabilidad-daño es similar para el resto de municipios de la cuenca.

Observamos que, estos cambios en la probabilidad anual de algunas inundaciones suponen que para períodos de retorno de 40-20 años tenemos dos posibles valores para el daño correspondiente. Para calcular el daño anual esperado, optamos por los valores de daño más elevados. Los resultados obtenidos se resumen en el cuadro n.º 2.

El multiplicador de la probabilidad anual de inundación como consecuencia del cambio climático es el mismo para toda la cuenca. Sin embargo, las consecuencias en el daño anual esperado son diferentes en los distintos municipios. El cambio en el daño anual esperado como consecuencia del cambio climático es relativamente bajo en municipios como Zumarraga o Azkoitia, un aumento cercano al 25% sobre la estimación obtenida para el escenario base proyectado. En otros municipios, el aumento es mayor, acercándose al 65% como es el caso de Legazpi, Azpeitia y Zumaia. Por último, encontramos dos municipios en los que el aumento del daño anual esperado por inundación es muy alto, en concreto los municipios de Urretxu y Zestoa, donde puede aumentar en más de un 100% sobre las estimaciones para el escenario base proyectado. Estas diferencias en el impacto del cambio climático se deben fundamentalmente a la forma de las curvas de probabilidad-daño. Los municipios con curvas de pendiente más pronunciada son las que pueden experimentar un mayor aumento del daño anual esperado por inundación. Para estos municipios, el daño esperado de

las inundaciones aumenta más rápidamente al aumentar el período de retorno de una inundación. Con el cambio climático se espera que aumente la frecuencia de las inundaciones con mayor período de retorno lo que afectará negativamente a los municipios más afectados por éstas.

4. CONCLUSIONES

El presente estudio analiza el riesgo de inundación en la cuenca del río Urola y cómo éste puede verse afectado en el futuro por el desarrollo económico y el cambio social pero, sobre todo, por el cambio climático. Las cifras obtenidas son estimaciones realizadas con la información disponible sobre estudios fluviales, urbanísticos y demográficos de la zona estudiada. Cabe destacar que algunos aspectos relevantes, como el impacto de las inundaciones sobre el transporte, han quedado fuera del análisis por falta de datos sobre movilidad y frecuencia de viajes desde y hasta la cuenca. Es probable que la consideración de este impacto eleve las estimaciones calculadas en el presente estudio.

El riesgo de inundación aumentará en la cuenca del Urola en el futuro. No se espera un aumento importante de los elementos en riesgo de sufrir daños por las inundaciones pero sí se espera un aumento significativo del riesgo de inundación por cambio en la frecuencia de las inundaciones como consecuencia del cambio climático. El riesgo de inundación puede llegar a duplicarse en algunos puntos de la cuenca.

La valoración cuantitativa del riesgo de inundación en un escenario de cambio climático, bien expresado mediante curvas de probabilidad-daño, bien expresado mediante el daño anual esperado es relevante para

la toma de decisiones públicas en materia de gestión de riesgos ya que las estimaciones obtenidas pueden incorporarse a los estudios de coste-beneficio. No hay que olvidar, sin embargo, la elevada incertidumbre que existe en los análisis sobre la futura evolución del clima como consecuencia de las emisiones antropogénicas de gases de efecto invernadero, incertidumbre que se traslada a las cifras estimadas.

Cabe destacar, sin embargo que, incluso teniendo en cuenta la incertidumbre, los análisis cualitativos y cuantitativos del cambio en el riesgo de inundación por efecto del cam-

bio climático son importantes tanto en esta zona como en buena parte del territorio español, dada la alta frecuencia con que ocurren este tipo de fenómenos. Los estudios más actuales sobre el clima futuro muestran no tanto un posible aumento de las precipitaciones medias en España sino un cambio en la distribución temporal de las mismas. De hecho, la evidencia histórica muestra que el incremento del riesgo de inundación puede darse incluso cuando las predicciones apuntan a una disminución de las precipitaciones medias si la menor precipitación se concentra en períodos cortos de tiempo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BENITO, G., BARRIENDOS, M., LLASAT, C., MACHADO, M. Y THORINDYCRAFT, V. (2005): Impactos sobre los riesgos naturales de origen climático. Riesgo de crecidas fluviales, en *Evaluación preliminar de los impactos en España por efecto del cambio climático*, MORENO, J.M. (Coord.), Ministerio de Medio Ambiente.
- BOYD R. Y HUNT, A. (2006): Costing the local and regional impacts of climate change using the UKCIP costing methodology, *Metroeconomica Limited*.
- CINSA: Estudio de inundabilidad en poblaciones en cuencas intracomunitarias de la CAPV, Legazpi.
- Estudio de inundabilidad en poblaciones en cuencas intracomunitarias de la CAPV, Azpeitia.
- DEFRA (2003): Flood Risks to People Phase 1. R&D Technical Report FD2317. *DEFRA & Environment Agency, Flood and Coastal Defence R&D Programme*.
- 2004a: The appraisal of human related intangible impacts of flooding, R&D Technical Report FD 2005/TR, *DEFRA & Environment Agency, Flood and Coastal Defence R&D Programme*.
- 2004b: Flood and coastal defence project appraisal guidance FCDPAG3 Economic Appraisal. *Supplementary note to operating authorities*.
- 2006: Flood Risks to People Phase 2. R&D Technical Report FD2321. *DEFRA & Environment Agency, Flood and Coastal Defence R&D Programme*.
- DETR (1999): Flood and Coastal Defense Project Appraisal Guidance: FCDPAG3 Economic Appraisal, *UK Department for Environmental, Transport and Regions*, London.
- EVANS, E., ASHLEY, R., HALL, J.; PENNINGS-ROWSSELL, E., SAUL, A., SAYES, P., THONE, C. Y WATKINSON, A. (2004): Foresight. Future flooding. Scientific summary, Volume I, *Future risks and their drives*, Office of Science and Technology, London.
- FHRC (2006): The benefits of flood and coastal risk management. *A manual of assessment techniques* (multi-coloured manual), Flood Hazard Research Centre and Middlesex University.
- GARCÍA CODRON, J.C. (2004): «Las ciudades españolas y el riesgo de inundación: permanencia y cambio de un problema crónico», *Boletín de la A.G.E.*, 37:85-99.
- GOBIERNO VASCO (2004): Plan territorial parcial del área funcional de Beasain-Zumarraga (Goierrri), Departamento de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio.
- 2006: Plan territorial parcial del área funcional de Zarautz-Azpeitia (Urola-Costa), Departamento de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio (Gobierno Vasco) y Departamento para la ordenación y promoción territorial (Diputación Foral de Gipuzkoa).

- HALL, J.W., EVANS, E.P., PENNING-ROWSELL, E.C., SAYERS, P.B., THORNE, C.R. Y SAUL, A.J. (2003): «Quantified scenarios analysis of drivers and impacts of changing flood risk in England and Wales: 2030-2100», *Environmental Hazards*, 5: 51-65.
- HALL, J.W., SAYERS P.B. Y DAWSON, R.J. (2005): «National-scale assessment of current and future flood risk in England and Wales», *Natural Hazards* 36: 147-164.
- IBISATE, A., OLLERO, A. Y ORMAETXEA, O. (2000): «Las inundaciones en la vertiente cantábrica del País Vasco en los últimos veinte años: principales eventos, consecuencias territoriales y sistemas de prevención», *Serie Geográfica*, 9:177-186.
- MILLY, P.C.D., WETHERALD, R.T., DUNNE, K.A. Y DELWORTH, T.L. (2002): «Increasing risk of great floods in a changing climate», *Nature*, 415: 514-517.
- OSÉS-ERASO, N. (2008): Costes del cambio climático: riesgo de inundación en la Cuenca del río Urola, *Documento de Trabajo* elaborado para IHOBE.
- PALMER, T.N. Y RÄISÄNEN, J. (2002): «Quantifying the risk of extreme seasonal precipitation events in a changing climate», *Nature*, 415: 512-514.
- PENNING-ROWSELL, E., JOHNSON, C., TUNSTALL, S., TAPSELL, S., MORRIS, J., CHATTERTON, J. Y GREEN, C. (2005): The benefits of flood and coastal risk management: a handbook of assessment techniques, Middlesex University Press.
- KUNDZEWICZ, Z.W. Y SCHELLNHUBER, H.J. (2004): «Floods in the IPCC TAR perspective», *Natural Hazards*, 31: 111-128.
- UNIDAD HIDROLÓGICA DEL UROLA (2001): Red de vigilancia de la calidad de las aguas y del estado ambiental de los ríos de la CAPV
- SENER: Delimitación de zonas inundables de núcleos de población en las cuencas internas de la CAPV. Cuenca del río Urola (U.H. Urola). Municipios de Urretxu, Zumarraga y Azkoitia.
- Delimitación de zonas inundables de núcleos de población en las cuencas internas de la CAPV. Cuenca del río Urola (U.H. Urola). Municipios de Zestoa, Aizarnazabal y Zumaia.
- TAYLOR, T. (2006): Valuing Cultural Heritage and Climate Change Risks, en *Metroeconomica*. Quantifying the cost of impacts and adaptation in the UK.
- UK CLIMATE IMPACTS PROGRAMME (2001): Socio-economic scenarios for climate change impact assessment: a guide to their use in the UK Climate Impacts Programme, UKCIP, Oxford.
- WATSON, A.J. (2008): «Certainty and uncertainty in climate change predictions: what use are climate models?» *Environmental and Resource Economics*, 39: 27-44.