

Introducción

Una gran cantidad de literatura científica, estudios, informes y programas de investigación se ha publicado sobre las inundaciones y su prevención. La *Web of Science* (WoS) identificó 28.348 publicaciones entre 1900 y 2016 que incluían el término *flood(s)* (inundación(es)) en su título (figura I.1). El 55% de ellas fueron publicadas en los últimos diez años. Sin embargo, a pesar de la inflación de conocimientos y experiencias, el impacto de las inundaciones sigue en aumento. Dicho impacto se mide por el aumento en los costes, por la sensación de impotencia para poner en marcha medidas preventivas eficaces y por la impresión –justificada o no– de que las inundaciones aumentan en cantidad y en intensidad cada año.

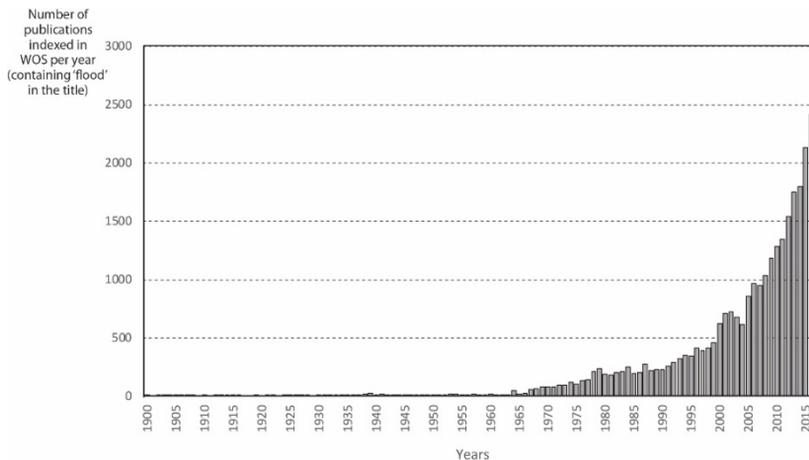


Figura I.1. Evolución del número de publicaciones indexadas sobre las inundaciones (fuente: *Web of science*, palabra “flood” contenida en el título)

El riesgo de inundación y su gestión son objeto de debate y generan tanta producción científica porque las inundaciones se presentan en casi todas las regiones del mundo, pero, además, porque se localiza con precisión y está fuertemente condicionado por la topografía. Por lo tanto, más que cualquier otro “riesgo natural”, es relevante para la planificación del uso de la tierra en relación a las cuestiones inmobiliarias, el desarrollo económico y la responsabilidad individual y colectiva. A pesar de que la literatura científica tiende a ubicar al conocimiento y la gestión de las crecidas dentro del paradigma global de la reducción de desastres (*Disaster Risk Reduction*), creemos que se debe dar un lugar especial al conocimiento específico sobre las inundaciones. Este volumen se divide en cuatro partes: primero, se analizan los impactos de las inundaciones, luego se consideran los métodos y herramientas que ayudan al conocimiento de las inundaciones en sus vertientes física y socioeconómica, y finalmente se concluye con capítulos prospectivos acerca de la evolución futura del riesgo de inundación.

I.1. El enfoque genérico versus el enfoque específico de los riesgos naturales

En publicaciones recientes se aplica un enfoque genérico a los denominados riesgos naturales, de acuerdo con la llamada teoría radical, la cual afirma que los determinantes de un desastre, es decir, los factores que explican el alcance de los daños, se explican en primer lugar por las vulnerabilidades globales de la sociedad [WIS 12, GAI 07]. Durante los últimos veinte años, se ha hecho hincapié en la vulnerabilidad y su reducción como principio paliativo de los riesgos naturales. Los defensores del enfoque radical argumentan que la vulnerabilidad es la raíz de los riesgos: la pobreza, los sistemas de salud deficientes, las malas condiciones de las viviendas, etc., son factores que forman parte de la vulnerabilidad general. Por lo tanto, se aplican tanto a las inundaciones como a los riesgos de epidemias o terremotos. Una población pobre, mal alojada e insalubre será vulnerable a las inundaciones, los terremotos y las epidemias, siempre y cuando esté expuesta.

A escala mundial, estas afirmaciones son totalmente defendibles y es evidente que la reducción de las vulnerabilidades generales de la sociedad, de un grupo social o de un territorio (mejora de la salud, aumento de los ingresos...) se traduce en rápidos avances en la lucha contra los riesgos naturales. Sin embargo, en las sociedades denominadas “desarrolladas”, en las que los niveles ingresos son mayores y las necesidades básicas de la población están, en términos generales, cubiertas, se plantea el problema de abordar la prevención de acuerdo con cada riesgo en particular, en este caso, el riesgo de inundación. La capacidad de reducción de los daños ha alcanzado un “techo”: los daños son cada vez mayores a pesar de las

políticas públicas proactivas. El número de muertes ha disminuido en los países “desarrollados” y los progresos sólo pueden ser específicos, es decir, que se obtienen aplicando medidas específicas a cada riesgo, en este caso a las inundaciones.

1.2. La especificidad del riesgo de inundación

Por lo tanto, se justifica abordar el riesgo de inundación de forma específica, sin que por ello se trate de un enfoque *centrado en el riesgo*.

La especificidad en el riesgo de inundación se caracteriza por, en primer lugar, su presencia casi general en la superficie de la tierra, excepto en las capas de hielo. Casi cualquier región del mundo puede verse afectada, a diferencia de los fenómenos más localizados, como los volcanes o los terremotos. Una vez que una región está sometida a precipitaciones, la lluvia irregular, más o menos frecuente o abundante puede generar desbordamientos de las corrientes superficiales y excepcionalmente de las subterráneas. Pero si observamos las áreas expuestas en una escala más pequeña, el peligro está muy localizado. A diferencia de los fenómenos atmosféricos de impacto directo como el viento o el granizo, que afectan de forma ubicua a una región, las inundaciones fluviales se relacionan con la topografía, y sólo afectan a los ríos y cauces no permanentes y a las zonas bajas. En Francia, las evaluaciones más extensas (EAIP¹) describen una superficie de llanura aluvial de 90.000 km², es decir, el 14% del territorio nacional, incluidos los territorios de ultramar.

Esta topodependencia del peligro de inundación lleva a varias suposiciones:

- las llanuras aluviales pueden ser identificadas y serializadas geográficamente;
- el peligro puede ser controlado por estructuras que impiden que el agua entre en las zonas expuestas (lo que es imposible en el caso del viento o los terremotos);
- el hombre tiene la habilidad de controlar el riesgo, si controla el uso de la tierra.

1.3. Nuevos datos, nuevos métodos y diálogo interdisciplinario

Las herramientas de análisis y los datos relativos a las inundaciones han aumentado considerablemente en los dos últimos decenios, aunque su utilización es muy desigual en todo el mundo. Los sistemas de información geográfica, los relevamientos topográficos de alta resolución, las imágenes satelitales y ahora los

1. EAIP: de la sigla en francés, *enveloppe approchée des inondations potentielles*, o envolvente aproximada de posibles inundaciones (www.onrn.fr).

drones proporcionan herramientas cada vez más potentes para comprender un riesgo que interesa a muchas disciplinas: la ingeniería, la hidrología, la hidráulica, pero también la geografía, ordenación del territorio, urbanismo, etc. Los politólogos, psicólogos, geógrafos y las ciencias humanísticas en general han proporcionado análisis esclarecedores. Las principales organizaciones internacionales de investigación, tanto públicas como privadas, centradas históricamente en la ingeniería hidráulica e hidrológica, han diversificado sus competencias para satisfacer la necesidad de un conocimiento integral sobre los riesgos de inundación. Es cada vez más frecuente que los programas de investigación sobre el tema exijan incluir un componente socioeconómico, aunque, a veces, meramente cosmético, pero al menos existe. La economía ha entrado en el debate. Si bien ella proporciona los elementos necesarios para la toma de decisiones y las salvaguardias, los criterios económicos no son los elementos clave de las decisiones de prevención de riesgos. En este sentido, ¿sería deseable que así fuera? Uno de los objetivos de este libro es promover el diálogo interdisciplinario presentando los objetivos y métodos de las diferentes disciplinas que contribuyen a un mejor conocimiento del tema de las inundaciones.

I.4. La cuestión de las representaciones y el “riesgocentrismo”

Es importante destacar los estrechos vínculos que hay entre la representación del riesgo, el conocimiento del riesgo y la gestión del riesgo. A lo largo de este libro, ha sido difícil separar lo que se refiere al conocimiento del riesgo de lo que se clasifica como la gestión del riesgo. Este es el caso, por ejemplo, de la noción de resiliencia: es una herramienta para diagnosticar la capacidad de una sociedad o de un territorio para hacer frente a una inundación, pero también una herramienta de gestión que fomenta el desarrollo de esa capacidad. El conocimiento de las representaciones de las inundaciones que hacen los expertos y gestores (técnicos y políticos) es fundamental para comprender las medidas que se adoptan. ¿Desde qué perspectiva las abordan el representante político, el técnico, el residente local? Nos guste o no, la gente se guía por lo que ha aprendido y en consecuencia la inercia prevalece en esta área. Es una cuestión generacional. Los conceptos de riesgo y las nuevas técnicas del conocimiento y la gestión de las inundaciones están evolucionando muy lentamente. Las acciones preventivas están, por tanto, muy ligadas a los conocimientos y habilidades presentes en los lugares donde se toman las decisiones.

En este sentido, la prevención de riesgos de inundación ha estado dominada durante mucho tiempo por el deseo de controlar los riesgos. Esta tendencia es bien conocida. Se expresa a través de la confianza en métodos de protección como los diques o cuencas de retención, los cuales a su vez agravan los problemas, al producirse un fenómeno conocido como “efecto escalera mecánica” [PAR 95, SAU 01]. Los efectos perversos de este enfoque centrado en el riesgo son menos

conocidos en otras áreas del conocimiento y en la prevención de riesgo en el sentido amplio del término. La información de daños se vincula con los datos de riesgo (a menudo, el nivel del agua, a veces, la velocidad de la corriente) mediante relaciones matemáticas [HUB 99, PEN 13]. Sin embargo, la correlación riesgo/daños no es tan obvia. Estudios detallados sobre las inundaciones marinas han demostrado que los parámetros agregados de riesgo (nivel del agua, velocidad, duración de la inundación) explican sólo el 50% de la varianza de los daños a los bienes particulares [AND 13]. Esta observación también es válida para otros fenómenos, como las tormentas: el mapa de las velocidades máximas del viento no se superpone al mapa de pérdidas [BOU 14].

De manera similar, la cuestión del calentamiento global y sus posibles impactos sobre las inundaciones requiere, precisamente, separar lo que está relacionado con la evolución del riesgo (véase el capítulo 18 de este volumen) y los resultados de los desarrollos socioeconómicos (activos adicionales, vulnerabilidades cambiantes..., véase el capítulo 19). Estos cambios socioeconómicos, a veces muy rápidos y descontrolados, tienen consecuencias importantes en el riesgo de inundación.

1.5. Tipos de inundaciones

Una vez cumplidos estos requisitos previos, ¿cuál es el alcance de este trabajo? Detrás de la definición más simple de inundación (agua que cubre un área normalmente expuesta), se encuentra una multitud de configuraciones y escenarios posibles. Se necesitaría un libro completo para presentar todos los tipos de inundaciones. Proponemos una clasificación basada en las causas de las inundaciones, separando las que se originan por las precipitaciones de las que se originan por otras fuentes (ya sean marítimas, como las inundaciones marinas, o terrestres, como los tsunamis). Este libro trata principalmente de las inundaciones de origen “lluvioso” o pluvial –para evitar el barbarismo–, incluyendo los efectos de los embalses, como son la nieve o el hielo. Se utiliza la clasificación propuesta en 2010 [VIN 10], ligeramente modificada (tabla I.1). En la primera columna se indica la causa primaria de la inundación, en las dos columnas siguientes se indican los factores agravantes o atenuantes, que no son excluyentes.

1.5.1. Inundaciones de origen pluvial

Las clasificaciones clásicas distinguen entre²:

- inundaciones repentinas o inundaciones relámpago (*flash floods*);

2. <http://www.floodsite.net/>.

- inundaciones urbanas (*urban floods*);
- inundaciones fluviales, por desbordamiento de ríos (*fluvial floods*);
- inundaciones por ascenso de la capa freática (*ponding floods*).

Con excepción de las inundaciones marinas, relacionadas principalmente con el viento (señaladas a continuación), este “tipo” de inundaciones, mencionadas anteriormente, forman parte de un mismo continuo hidrológico (figura I.2) regulado por la intensidad de las precipitaciones y las características de las zonas de captación, principalmente la pendiente y el estado de la superficie, las cuales controlan la concentración y los tiempos de propagación. Por lo tanto, las inundaciones torrenciales no son una prerrogativa de las regiones mediterráneas o tropicales, sino que pueden afectar a cualquier zona sujeta a precipitaciones intensas y pendientes pronunciadas. Estas inundaciones torrenciales están ligadas a precipitaciones intensas, siendo los umbrales de intensidad muy variables de un medio a otro: desde unas pocas decenas de milímetros en media hora (Norte de Europa) hasta 100 mm/h o más en zonas mediterráneas o tropicales [GAU 16].

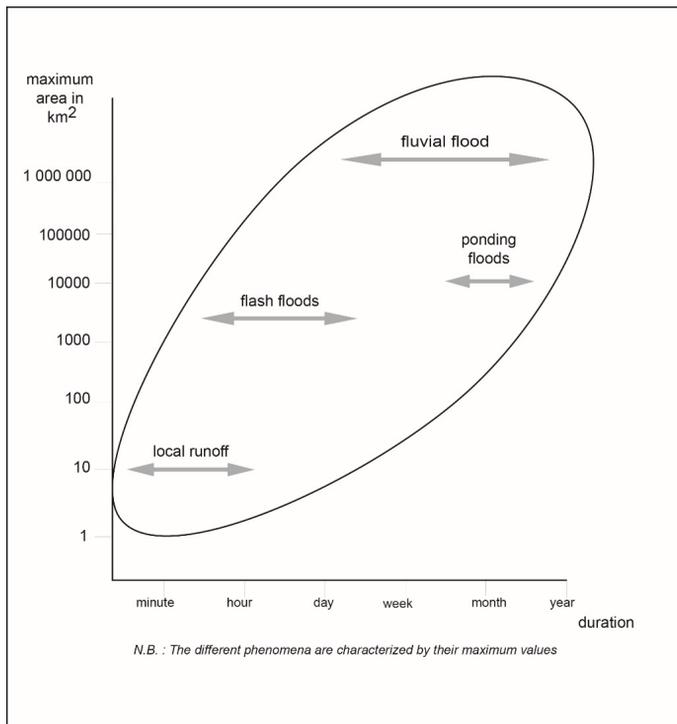


Figura I.2. Distribución espacial y temporal de los tipos de crecidas

	Causa principal	Factor agravante	Factor atenuante	Manifestaciones	Principales zonas expuestas	Ejemplos
Inundaciones de origen pluvial	Lluvias intensas	Pendiente aguda, superficie impermeable	Embalses naturales (karst) y antropogénicos (represas)	Inundación torrencial/ inundación pluvial urbana y periurbana	Colinas o montañas en zona tropical, continental o mediterránea	Big Thompson floods (Colorado) 31 de julio 1976 Bab El Oued (Argelia) 2001 Ríos de Siberia en primavera (debacle glacial), Mississippi 1993
	Lluvias poco intensas	Deshielo de nieve, hielo	Barrages anthropiques	Inundaciones fluviales	Todas las zonas del planeta excepto desiertos (Antártica)	Inundación de la llanura (Sena en 1910), Ascenso de la capa freática (Somme en 2001)
	Lluvias poco intensas		Roca, pendiente débil	Ascenso de la Napa		
Inundaciones de origen meteorológico indirecto	Rotura del lago glacial	Derretimiento o choque de glaciar		Inundación Relámpago, Jökulhlaups	Montañas templadas y subpolares	Alpes
Inundaciones de origen marítimo	Viento	Baja presión atmosférica. Ruptura del litoral. Marea		Sumersión marina	Litorales de costas bajas, estuarios	Ciclón, acqua alta en Venecia

	Causa principal	Factor agravante	Factor atenuante	Manifestaciones	Principales zonas expuestas	Ejemplos
Inundaciones de origen no meteorológico	Erupción volcánica	Derretimiento de nieve o glaciar		Derretimiento de nieve o deshielo, lahar	Borde del Pacífico, volcanes de la zona fría (Islandia)	Jokulhlaup en Islandia en 196, Nevado del Ruiz (Colombia) en 1986
	Sismo volcánico deslizamiento de suelo submarino			Tsunami		Japón marzo 2011
	Movimiento de tierra	Fuertes precipitaciones		Rotura de embalse natural	Borde del Pacífico	Vajont, (Italia, 1963), Josefina (Ecuador, 1993)
Inundaciones de origen antropogénico (riesgo tecnológico)	Ruptura de dique	Inundación fluvial		Sumersion de zonas bajas	Zonas montañosas	Inundaciones Nueva Orleans agosto 2005
	Ruptura de embalse	Sismo, fuertes precipitaciones, deslizamiento de suelo		Onda de sumersión río abajo	Llanuras fluviales o litorales	Malasset, Fréjus (Francia 1959)

Tabla I.1. Tipos de inundación (clasificación genética)

La escorrentía urbana se denomina así porque la artificialización de las superficies y la presión sobre los *thalwegs* favorecen la concentración de los flujos. Las inundaciones urbanas no son, en sentido estricto, “un tipo” de inundación, sino más bien un riesgo creciente debido al desarrollo de las zonas urbanas en todo el mundo. Se distinguirá entre inundaciones periurbanas e inundaciones urbanas *stricto sensu*. En el primer caso, el peligro proviene de los ríos tributarios que convergen en una aglomeración urbana. En el segundo caso, dado que las lluvias se producen directamente sobre el área urbana, el sistema de drenaje de aguas pluviales es defectuoso y no puede drenar el agua precipitada. Como se muestra en la figura I.2, es difícil clasificar las crecidas según la escala espacial. Una inundación por “desbordamiento de una corriente de agua” puede ocurrir en una cuenca de unos pocos kilómetros cuadrados. Además, no existe un tamaño mínimo absoluto para una cuenca hidrográfica. Una cuenca de unos pocos metros cuadrados puede ser delimitada en una parcela. Así, las inundaciones por “escorrentía urbana” replican generalmente las pendientes de la topografía existente, la cual ciertamente es artificializada y modificada por el hombre.

Sin embargo, estas crecidas dan lugar a flujos con cinéticas muy diferentes (véase el capítulo 8 de este volumen): flujo turbulento o laminar, papel de las confluencias, mareas, etc. Uno de los factores que agravan o mitigan las crecidas es la presencia de embalses de diferentes formas, lo que constituye un punto esencial en la comprensión de los escenarios de inundación: estos embalses son de naturaleza geológica (suelos, formaciones superficiales y rocosas), climática (hielos y nevadas) o antropogénica (presas). El funcionamiento de estos embalses puede atenuar o retrasar las descargas amplificando las inundaciones río abajo.

Los suelos permeables, las formaciones superficiales o las capas geológicas pueden absorber hasta 200 mm de precipitación. Este es el caso del karst cuyo nivel de saturación inicial juega un papel importante en la intensidad de las inundaciones torrenciales en la cuenca mediterránea, por ejemplo [GAU 04]. Del mismo modo, las inundaciones causadas por el ascenso de las capas freáticas están relacionadas con la acumulación de precipitaciones que han saturado las formaciones subterráneas permeables durante un largo período de tiempo. Si las pendientes son bajas, la inundación puede durar varios meses, como ocurrió entre marzo y junio de 2001 en la cuenca del Somme.

El deshielo por sí solo rara vez causa inundaciones devastadoras. Por otro lado, el rápido derretimiento de grandes espesores de nieve cuando las fuertes lluvias se combinan con la llegada de aire caliente puede tener un efecto agravante. Por último, el hielo es un reservorio con un papel complejo, que está suscitando un renovado interés en el contexto actual de disminución de los volúmenes glaciares. El

derretimiento del hielo por el aumento de la temperatura rara vez es lo suficientemente rápido como para causar inundaciones, pero debe tenerse en cuenta que el derretimiento estival en las cuencas montañosas puede dar lugar a flujos sostenidos durante las olas de calor (hasta Q10 en las cuencas altas de Durance en agosto de 2003). El hielo, o más bien el hielo derretido (colapso), desempeña un papel en las inundaciones estacionales en regiones con climas continentales fríos (Siberia, Canadá). Debido a que los grandes ríos tienen un flujo sur-norte, el agua de deshielo de las cabeceras colisiona con los ríos aguas abajo cubiertos de hielo, causando desbordamientos masivos en las llanuras.

1.5.2. Inundaciones de origen climático no pluviométrico

Las sumersiones marinas se clasifican en esta categoría. Las inundaciones costeras son fenómenos complejos relacionados principalmente con el viento, pero involucran muchos parámetros como la presión atmosférica, el oleaje, las mareas y parámetros fijos como la configuración costera y de los fondos marinos [BER 16]. Una sumersión marina puede combinarse con la inundación de un río, especialmente durante los ciclones, cuando las aguas terrestres no pueden ser descargadas en el mar. Si bien los fenómenos naturales pueden variar, los principios y métodos de gestión utilizados para gestionar el riesgo de inundaciones marinas son muy similares a los utilizados para las inundaciones de aguas pluviales. El capítulo 12 estudia las inundaciones costeras en detalle, pero en varios capítulos se hace referencia a ellas.

1.5.3. Inundaciones no climáticas

Las inundaciones no climáticas son muy diversas. En efecto, si nos atenemos a la definición estricta del término inundación, el tsunami es una inundación vinculada a un fenómeno geofísico, submarino o costero (erupción volcánica, terremoto, deslizamiento del suelo...). Por lo tanto, es una inundación sin crecida.

Los deslizamientos de tierra a veces pueden causar inundaciones. Pueden darse varios escenarios. Un deslizamiento de tierra puede bloquear el flujo a través de un valle. El agua se acumula aguas arriba de la presa natural hasta que el nivel de agua excede la altura de la presa y fluye aguas abajo, desmantelando la presa natural. Si la rotura es abrupta, la zona aguas abajo sufre una inundación torrencial. Cuando un deslizamiento de suelo ocurre en un lago (natural o artificial), puede crear un desbordamiento e inundación aguas abajo. Este caso ocurrió en Italia el 9 de octubre de 1963 en la presa de Vajont, la cual se desbordó y causó la muerte de 1.900 personas.

Las erupciones volcánicas pueden causar inundaciones al derretir, a mayor o menor velocidad, el hielo o la nieve acumulada en la estructura volcánica. Un ejemplo es el famoso caso de los *jökulhlaups* islandeses. Al derretir una gran masa de nieve o hielo, las erupciones volcánicas a veces pueden causar graves inundaciones. El lugar epónimo de los *jökulhlaups* es el glaciar Vatna en el sur de Islandia. Los volcanes activos bajo la capa de hielo hacen que el glaciar se derrita parcialmente durante las erupciones. El *jökulhlaup* de 1996 es célebre por haber derretido 3 km^3 de hielo y producir un caudal máximo de $52.000 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ (todos los canales combinados). Afortunadamente, el evento causó pocos daños en esta área escasamente poblada.

Estas inundaciones se ven agravadas por la elevada carga aluvial, ya que los materiales volcánicos son fácilmente movilizados por el agua de deshielo. Cabe señalar que las intensas precipitaciones sobre materiales volcánicos no estabilizados dan lugar a flujos altamente solidificados llamados *lahares*, muy frecuentes en Indonesia, su lugar epónimo [DEB 12].

Por último, a veces se producen inundaciones catastróficas por el drenaje de lagos subglaciares. El agua acumulada en una cavidad subglaciar o proglacial que se libera ya sea por desbordamiento del lago, por la rotura del glaciar o de la barrera morrénica, o por retroceso del glaciar. Este tipo de peligro se monitoriza especialmente en las montañas templadas. Podemos mencionar casos históricos como la rotura del embalse bajo el glaciar de la *Tête Rousse* en Saint-Gervais-les-Bains el 12 de julio de 1892, en el que murieron cerca de 200 personas.

1.5.4. Inundaciones por accidentes tecnológicos

En el espectro de las causas de las inundaciones, el hombre también juegan un papel importante. Esto se evidencia en la rotura de estructuras (diques o presas).

Las roturas de presas se producen al menos una vez al año en algún lugar del mundo. Las causas se atribuyen a los defectos de diseño de la estructura (subdimensionamiento, cimentaciones deficientes...), que se manifiestan por un acontecimiento natural que debilita la estructura, o bien por un evento externo que provoca la rotura. Las presas son muy heterogéneas en el diseño, tamaño y uso. Algunas son de tierra, como la que se rompió en agosto de 2008 en Colorado, dando lugar a la evacuación preventiva de cientos de turistas en el Gran Cañón. En mayo de 2008, las fuertes lluvias en el noreste de Brasil provocaron la rotura de una presa en el estado de Piauí. La ola de sumersión destruyó al menos 500 casas y provocó la desaparición de dos personas. Unas 2.500 familias que vivían cerca de la presa habían sido evacuadas una semana antes debido a riesgos de falla en la estructura.

Las roturas están relacionadas con defectos de diseño, operación o accidentes naturales: crecidas que exceden la capacidad del proyecto, deslizamientos en el lago del embalse, terremotos, e incluso a actos de intención maliciosa, como un ataque terrorista. El vaciado repentino de un lago de embalse de una presa provoca una ola de sumersión que se propaga muy rápidamente río abajo. Si la rotura es repentina, deja pocas posibilidades de supervivencia para las personas que se encuentran en las inmediaciones y que no fueron evacuadas de forma preventiva. El riesgo de rotura de presas es poco conocido por el público en general, pero los planes locales de gestión de crisis está empezando a prestar atención a este riesgo.

Las roturas de los diques no son un tipo de inundación en sí mismas, sino un factor agravante en las inundaciones fluviales o costeras. Muchos ríos, particularmente los más grandes del mundo (Hoang Ho, Mississippi, Rin), son embalsados en la parte media o baja de su curso. Aunque ha sido clasificado como un riesgo tecnológico, el riesgo de rotura de una presa es una parte integral de los escenarios de inundación de los ríos. El capítulo 11 está dedicado a este tipo de riesgo.

I.6. Presentación del volumen

Este volumen aborda el conocimiento de las inundaciones. No se centra en los conceptos de riesgo de desastres “naturales”, ni en el tema de análisis de riesgos en general. Hay muchas publicaciones en este campo [LEO 10, WIS 12, REG 15]. Adicionalmente, los capítulos hacen referencia a los conceptos, métodos y datos disponibles para facilitar el diagnóstico del riesgo de inundación.

Hemos optado por destacar los impactos de las inundaciones a diferentes escalas y en el sentido más amplio, abarcando desde los impactos sobre la salud humana hasta las consecuencias económicas, patrimoniales y ambientales. Los primeros tres capítulos describen los métodos de recopilación de datos y las fuentes de información obtenidas a partir de la *retroinformación de la experiencia*, un término inapropiado que se utiliza en Francia para referirse al análisis retrospectivo de los fenómenos de inundación (introducción) con el fin de crear bases de datos (capítulo 1). Las consecuencias de las inundaciones son cada vez más utilizadas en la medición del riesgo y en la evaluación de las medidas preventivas (capítulo 2). Este es un aspecto que se descuida con demasiada frecuencia, a pesar de que los métodos han existido durante mucho tiempo [TOR 93, PEN 13]. En los capítulos siguientes se describen los impactos humanos y sanitarios (capítulo 3), los impactos sobre el patrimonio (capítulo 4) y finalmente los impactos tecnológicos o industriales, con el caso particular de las inundaciones *Natech* (capítulo 5).

Los siguientes capítulos tratan sobre lo que se llama peligro de inundación o, mejor dicho, el fenómeno físico. Las perspectivas son diversas, desde la hidrología (capítulos 6 y 7) y la hidráulica (capítulo 8) –dos pilares tradicionales del conocimiento de las crecidas– hasta los enfoques más naturalistas, en particular la geomorfología. Para comprender los problemas actuales de gestión de los hidrosistemas en general y de las inundaciones en particular, es necesario tener en cuenta los cambios a largo plazo en los cursos de agua. Dichos cambios, relacionados con factores naturales (calentamiento posterior a la Pequeña Edad de Hielo) o antropogénicos (extracción de áridos, presas, etc.) a veces tienen consecuencias significativas en la determinación de los caudales y la frecuencia de las inundaciones (véase el capítulo 9). La excavación de lechos menores, un fenómeno importante en el siglo XX y con múltiples causas, ha llevado, por ejemplo, a una reducción en la frecuencia de desbordamientos de lechos mayores, en igualdad de condiciones, a la vez que ha generado una serie de problemas de gestión del hidrosistema. Un capítulo está reservado al enfoque hidrogeomorfológico del riesgo de inundación, bien conocido en Francia, donde se originó [BAL 11], y que tiende a extenderse hacia otros lugares (capítulo 10). La consideración de las estructuras es un tema esencial y relativamente específico para las inundaciones, que es el riesgo natural más “controlado” (capítulo 11). Por último, se reserva una sección especial para las inundaciones costeras, cuya evaluación como riesgo es específica, pero cuyos desafíos en términos de planificación del uso de la tierra y de reducción de riesgos se aproximan a los de las “aguas pluviales” (capítulo 12).

La tercera parte de este primer volumen trata sobre las herramientas de conocimiento del riesgo de inundación desarrolladas por las ciencias humanas. Estas ciencias, en particular la historia, han colaborado durante mucho tiempo con las ciencias hidrológicas para mejorar el conocimiento de los fenómenos extremos del pasado (capítulo 13). En los últimos veinte años, las ciencias humanas, sociales y medioambientales han desarrollado herramientas analíticas para evaluar el riesgo: diagnóstico de vulnerabilidad (capítulo 14) y resiliencia (capítulo 15), para evaluar la sensibilidad de los sistemas críticos a las inundaciones, en particular las grandes zonas urbanas (capítulo 16) y las redes de carreteras, electricidad y alcantarillado (capítulo 17).

Este volumen culmina con dos capítulos a manera de conclusión prospectiva sobre el futuro del riesgo de inundación. ¿Qué impactos puede tener sobre las inundaciones el cambio climático que tan a menudo se invoca? En otras palabras, ¿cómo afectará el calentamiento global a los caudales? ¿Se han detectado ya cambios significativos? (Capítulo 18). Al mismo tiempo, el cuestionamiento se extiende a las variables socioeconómicas, tanto en forma retrospectiva como prospectiva. ¿Qué acontecimientos sociales, demográficos y políticos a escala mundial han influido en el pasado y pueden determinar el riesgo de inundaciones en las próximas décadas? (Capítulo 19).

I.7. Bibliografía

- [AND 13] ANDRÉ C., Analyse des dommages liés aux submersions marines et évaluation des coûts induits aux habitations à partir de données d'assurance. Perspectives apportées par les tempêtes Johanna (2008) et Xynthia (2010), tesis de doctorado, University of Western Brittany, Brest, 2013.
- [ANT 08] ANTOINE J.M., DESAILLY B., GALTÍE J.F. *et al.*, *Les mots des risques naturels*, Presses de l'Université du Mirail, 2008.
- [BAL 11] BALLAIS J.-L., CHAVE S., DUPONT N. *et al.*, "La méthode hydrogéomorphologique de détermination des zones inondables", *Physio-Géo*, 2011.
- [BER 16] BERTIN X., "Storm surges and coastal flooding: status and challenges", *La Houille Blanche*, vol. 2, pp. 64–70, 2016.
- [DEB 12] DE BELIZAL E., Les corridors de lahars du volcan Merapi (Java, Indonésie): des espaces entre risque et ressource. Contribution à la géographie des risques au Merapi, Tesis, Panthéon-Sorbonne University, París, 2012.
- [DUR 14] DURAND S., Vivre avec la possibilité d'une inondation?: Ethnographie de l'habiter en milieu exposé... et prisé, tesis de doctorado, AMU, 2014.
- [GAI 07] GAILLARD J.C., "De l'origine des catastrophes : phénomènes extrêmes ou âpreté du quotidien?" *Natures Sciences Sociétés*, vol. 15, pp. 44–47, 2007.
- [GAU 04] GAUME E., LIVET M., DESBORDES M. *et al.*, "Hydrological analysis of the river Aude, France, flash flood on 12 and 13 November 1999", *Journal of Hydrology*, vol. 286, pp. 135–154, 2004.
- [GAU 16] GAUME E., BORGA M., LLASAT M.C. *et al.*, "Mediterranean extreme floods and flash floods", *The Mediterranean Region under Climate Change*, ALLenvi/IRD editions, 2016.
- [HUB 99] HUBERT G., LEDOUX B., *Le coût du risque... L'évaluation des impacts socio-économiques des inondations*, Presses de l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, París, 1999.
- [LEO 10] LEONE F., MESCHINET DE RICHEMOND N., VINET F., *Aléas naturels et gestion des risques*, PUF, 2010.
- [MUN 16] MUNICH RE, Topics Geo Natural Catastrophes 2015: Analyses, Assessments, Positions, disponible en el sitio web: www.preventionweb.net/publications/view/48584, 2016.
- [PAR 95] PARKER D., "Floodplain development policy in England and Wales", *Applied Geography*, vol. 15, nro. 4, pp. 341–363, 1995.

- [PEN 13] PENNING-ROUSELL E.C., PRIEST S.J., PARKER D.J. *et al.*, *Flood and Coastal Erosion Risk Management. A Manual for Economic Appraisal*, Routledge, Londres, 2013.
- [REG 15] REGHEZZA-ZITT M., RUFAT S., *Résiliances*, ISTE Editions, Londres, 2015.
- [SAU 01] SAURI-PUJOL D., DOLORS ROSET-PAGE D., RIBAS-PALOM A. *et al.*, “The ‘escalator effect’ in flood policy: the case of the Costa Brava, Catalonia, Spain”, *Applied Geography*, vol. 21, pp. 127–143, 2001.
- [TOR 93] TORTEROTOT J.P., *Le coût des dommages dus aux inondations: estimation et analyse des incertitudes*, Tesis, ENPC-CERGRENE, Noisy-le-Grand, 1993.
- [VIN 10] VINET F., *Le risque inondation. Diagnostic et gestion*, Tec & Doc, 2010.
- [WIS 12] WISNER B., GAILLARD J.C., KELMAN I. (eds), *Handbook of Hazards and Disaster Risk Reduction*, Routledge, Abingdon, 2012.