



# Modelización del riesgo de inundación en apoyo de la transferencia de riesgos: Retos y oportunidades en contextos de escasez de datos

Febrero de 2023

Disaster Risk Financing  
& Insurance Program



**DF** Insurance  
Development  
Forum

© 2023 International Bank for Reconstruction and Development / The World Bank 1818 H Street NW  
Washington DC 20433  
Telephone: 202-473-1000  
Internet: [www.worldbank.org](http://www.worldbank.org)

## Disclaimer

This work is a product of the staff of The World Bank with external contributions. The findings, interpretations, and conclusions expressed in this work do not necessarily reflect the views of The World Bank, its Board of Executive Directors, or the governments they represent.

The World Bank does not guarantee the accuracy, completeness, or currency of the data included in this work and does not assume responsibility for any errors, omissions, or discrepancies in the information, or liability with respect to the use of or failure to use the information, methods, processes, or conclusions set forth. The boundaries, colors, denominations, and other information shown on any map in this work do not imply any judgment on the part of The World Bank concerning the legal status of any territory or the endorsement or acceptance of such boundaries.

Nothing herein shall constitute or be construed or considered to be a limitation upon or waiver of the privileges and immunities of The World Bank, all of which are specifically reserved.



## Rights and Permissions

The material in this work is subject to copyright. Because The World Bank encourages dissemination of its knowledge, this work may be reproduced, in whole or in part, for noncommercial purposes as long as full attribution to this work is given.

Any queries on rights and licenses, including subsidiary rights, should be addressed to World Bank Publications, The World Bank Group, 1818 H Street NW, Washington, DC 20433, USA; fax: 202-522-2625; e-mail: [pubrights@worldbank.org](mailto:pubrights@worldbank.org).

Diseño de portada y maquetación: Katy Christianson Design

Crédito de fotografía de portada: Simanta Talukdar/Shutterstock.com

## Agradecimientos

Este informe forma parte de la colaboración entre el Banco Mundial, a través de su Programa de Financiación y Seguros contra el Riesgo de Desastres (DRFIP, Disaster Risk Financing and Insurance Program por sus siglas en inglés), y el Foro de Desarrollo de Seguros para ofrecer productos analíticos y técnicos conjuntos que sirvan de base al diseño de instrumentos financieros (basados en el mercado) y reformas políticas para aumentar la resiliencia financiera y la protección de las personas, comunidades, empresas e instituciones públicas vulnerables a las perturbaciones y desastres climáticos.

Este informe ha sido redactado por Alastair Norris (Banco Mundial) y Stuart Fraser (Insurance Development Forum), con una revisión en profundidad a cargo de Michaela Mei Dolk (Banco Mundial), bajo la dirección general de Olivier Mahul (Banco Mundial).

El informe se basa en una serie de consultas con expertos en este campo, representantes de Fathom Global, JBA Risk Management, TomorrowNow, Cloud to Street, Guy Carpenter, Munich Re, RenaissanceRe, Risk Management Solutions, Descartes, Verisk, Start Network y Risk Engineering and Development (RED). Los autores agradecen a los numerosos revisores del Banco Mundial y a los miembros del Insurance Development Forum sus comentarios, que han contribuido a mejorar el informe.

# Contenido

Abreviaturas	6
Resumen ejecutivo	7
1. Introducción	9
2. Modelización de catástrofes por inundaciones para apoyar la toma de decisiones basadas en el riesgo	11
2.1 Requisitos y retos de los módulos de sucesos y peligros	14
2.1.1 Modelización de crecidas fluviales	14
2.1.2 Modelización de inundaciones pluviales	17
2.1.3 Principales retos en la modelización de riesgos de inundaciones fluviales y pluviales	18
2.1.4 Nuevos enfoques para la modelización de inundaciones en entornos con escasez de datos	20
2.2 Requisitos y retos de los datos de exposición	23
2.3 Requisitos y retos del módulo de vulnerabilidad	24
2.4 Requisitos y retos de la validación de modelos	24
3. Aplicación de la observación de la Tierra a la modelización de inundaciones	27
4. Requisitos de transferencia de riesgos de la modelización de inundaciones	30
5. Control del riesgo de inundación para activar productos FSRD	33
5.1 Tipos de datos y condiciones de control	33
5.2 Control de la extensión de las inundaciones	34
6. Conciliación de los requisitos de transferencia de riesgos con la modelización de inundaciones: Enfoques para modelización de soluciones de transferencia de riesgos en contextos de escasez de datos	37
6.1 Modelización del riesgo	37
6.2 Estructura del producto	38
6.3 Seguimiento de eventos y activación de pagos	38
6.4 Comunicación	39
7. Resumen	40
Referencias	41

## Lista de figuras

Figura 1: Tres elementos de la resiliencia ante los catástrofes.	10
Figura 2: Esquema del proceso de modelización de catástrofes.	11
Figura 3: Esquema de los mecanismos de inundación pluvial y fluvial.	13
Figura 4: Ejemplos de enfoques para caracterizar el riesgo de inundaciones fluviales.	16
Figura 5: Ejemplo de curvas intensidad-duración-frecuencia.	17
Figura 6: Comparación de los datos de elevación en los alrededores de Houston, Estados Unidos.	21
Figura 7: Resumen de productos de seguros.	30

## Lista de cuadros

Cuadro 1: Tipos de riesgo de inundación.	13
Cuadro 2: Modelización del riesgo abierto	14
Cuadro 3: Aplicación de modelos probabilísticos al análisis de riesgos en apoyo de la financiación del riesgo de catástrofes en la región CAREC.	16
Cuadro 4: Mejoras en la modelización topográfica y los datos de elevación	22
Cuadro 5: Riesgo de base	28
Cuadro 6: Previsión del riesgo de inundaciones	33
Cuadro 7: Flood Flash	34

## Casos prácticos

Caso práctico 1: La observación de la tierra se utiliza para desarrollar seguros paramétricos para pequeñas y medianas empresas agricultores de Colombia	29
Caso práctico 2: Producto contra inundaciones de SEADRIF Insurance Company	35

# Abreviaturas

BAD	Banco Asiático de Desarrollo
ARC	Capacidad de Riesgo Africana Limitada
CAPRA	Plataforma CAPRA de evaluación probabilística de riesgos
CAREC	Cooperación Económica Regional de Asia Central
CCRIF	Fondo de seguro contra riesgos de catástrofe en el Caribe Central)
CCRIF	Caribbean Catastrophe Risk Insurance Facility (en castellano: Fondo de seguro contra riesgos de catástrofe en el Caribe)
CDPC	Conjuntos de datos de precipitaciones cuadriculadas
CHIRPS	Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Stations (en castellano: Grupo de Riesgos Climáticos Precipitación por infrarrojos con estaciones)
CIMA	International Center for Environmental Monitoring, CIMA, Research Foundation (en castellano: Centro Internacional de Vigilancia Ambiental, CIMA, Fundación de Investigación)
EMDE	Emerging Market Developing Economies (en castellano: Economías emergentes en desarrollo)
FLOPROS	Base de datos mundial sobre normas de protección contra inundaciones
FSRD	Financiación y seguros del riesgo de desastres
GEM	Global Earthquake Model Foundation (en castellano: Fundación global de modelación de terremotos)
GPM	Global Precipitation Measurement (en castellano: Mediciones de Precipitación Global)
GRD	Gestión del riesgo de desastres
GRI	Gestión del riesgo de inundación
GSMaP	Global Satellite Mapping of Precipitation (en castellano: Cartografía mundial de precipitaciones por satélite)
HAND	Height Above Nearest Drainage (en castellano: Altura sobre el desagüe más próximo)
IDF	Insurance Development Forum (en castellano: Foro de seguros para el desarrollo)
JBA	JBA Gestión de Riesgos / JBA Consulting
LiDAR	Light Detecting and Ranging (en castellano: Detección y alcance de la luz)
MDE	Modelo digital de elevaciones
MDT	Modelos digitales del terreno
MODIS	Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (en castellano: Espectrorradiómetro de imágenes de media resolución)
ODI	Overseas Development Institute (en castellano: Instituto de Desarrollo de Ultramar)
PDNA	Post-Disaster Needs Assessment (en castellano: evaluación de las necesidades después del desastre)
PIB	Producto Interior Bruto
PMP	Precipitación Máxima Probable
RCP	Representative Concentration Pathway (en castellano: trayectoria de concentración representativa)
RRD	Reducción del riesgo de desastres
SEADRIF	Southeast Asia Disaster Risk Insurance Facility (en castellano: Servicio de seguros contra el riesgo de desastres en el Sudeste Asiático)
SRTM	Shuttle Radar Topography Mission (en castellano: Misión Topográfica Shuttle Radar)
TAMSAT	Topical Applications of Meteorology Using Satellite (en castellano: Aplicaciones tópicas de la meteorología mediante satélites)
TCR	Tiempo casi real
TRMM	Tropical Rainfall Measuring Mission (en castellano: Misión de medición de lluvias tropicales)
UNGRD	Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres, Colombia
WTW	Willis Tower Watson

## Resumen ejecutivo

Las inundaciones son uno de los peligros más frecuentes y graves que afectan a las personas y al entorno construido. Se prevé que el aumento de la intensidad de las precipitaciones debido al cambio climático, el crecimiento demográfico y la urbanización incrementen significativamente el riesgo de inundaciones en las próximas décadas, lo que provocará mayores pérdidas económicas y perturbaciones en las comunidades. Este riesgo puede reducirse o incluso prevenirse mediante la aplicación de estrategias de gestión del riesgo de inundaciones (GRI).

Un enfoque integral de la GRI incorpora múltiples componentes, como la identificación de riesgos, la reducción de riesgos, la preparación, la protección financiera y la recuperación resiliente. La protección financiera a través de la aplicación de instrumentos de Financiación y Seguro del Riesgo de Desastres (FSRD) complementa, pero no sustituye, la necesidad de medidas de Gestión del Riesgo de Desastres (GRD) y de Reducción del Riesgo de Desastres (RRD). La protección financiera debe aplicarse para transferir el riesgo residual que no pueda reducirse o gestionarse a través de otros componentes.

Suponiendo que las estrategias de reducción y gestión del riesgo de inundación se hayan aplicado plenamente, se pueden identificar enfoques de financiación del riesgo para garantizar la protección financiera antes de que se produzcan los acontecimientos. Los seguros ofrecen un mecanismo de financiación de riesgos para permitir una mayor resiliencia financiera en las economías emergentes en desarrollo (EMDE, por sus siglas en inglés Emerging Market Developing Economies), sin embargo, hay una escasez de datos para apoyar la evaluación del riesgo de inundaciones, y por lo tanto una falta de soluciones disponibles para los países.

El desarrollo de modelos de riesgo de inundación aceptables tanto para el país que busca protección financiera como para el sector del reaseguro plantea múltiples retos. Las inundaciones son un riesgo complicado de modelizar debido a su naturaleza altamente localizada y a los detallados datos de entrada necesarios para reducir la incertidumbre a un nivel aceptable. Estos datos, ya estén relacionados con el peligro, la exposición o la vulnerabilidad, son de vital importancia para la modelización y en las EMDE a menudo no están disponibles o no son de calidad suficiente. Además, esta falta de datos reduce la capacidad de demostrar la exactitud del modelo mediante la validación de todo el modelo. Sin embargo, con la creciente disponibilidad de datos globales, regionales y sectoriales y la mejora constante de las técnicas de modelización y seguimiento de riesgos, es posible desarrollar con éxito modelos de inundaciones que apoyen la colocación de instrumentos de transferencia de riesgos a primas informadas por el riesgo.

Este informe revisa los procesos y desafíos en el desarrollo de modelos de riesgo de inundación para apoyar la financiación y el seguro de riesgo de desastres y propone directrices para la modelización y el seguimiento de riesgos en apoyo de los instrumentos de transferencia de riesgo de inundación para contextos de escasez de datos. Las directrices de este informe se basan en consultas con profesionales de la industria aseguradora y del sector del desarrollo, incluidos expertos en modelización de riesgos y peligros de inundación, suscriptores y corredores de seguros, y especialistas en observación de la tierra. Las directrices deberían ser tenidas en cuenta por las organizaciones que encargan modelos de inundación con fines de FSRD, para desarrollar una mayor comprensión de las necesidades técnicas y no técnicas de tales proyectos.





# I. Introducción

En todo el mundo, más de 2.000 millones de personas viven en zonas en las que se espera que se produzca una inundación de 1 en 100 años, mientras que el 89 por ciento de los 1.470 millones de personas expuestas al riesgo de inundaciones intensas viven en países de ingresos bajos y medios (Rentschler y Salhab 2020). Las inundaciones individuales pueden afectar una gran zona y provocar daños considerables, habiendo causado más de 650.000 millones de dólares de pérdidas económicas entre 1998 y 2017 (Wallemacq y House 2018). Estas elevadas pérdidas se deben al grave impacto en las zonas urbanas, ya que los asentamientos a menudo se construyen cerca de los ríos, junto con grandes impactos en la agricultura y la seguridad alimentaria.

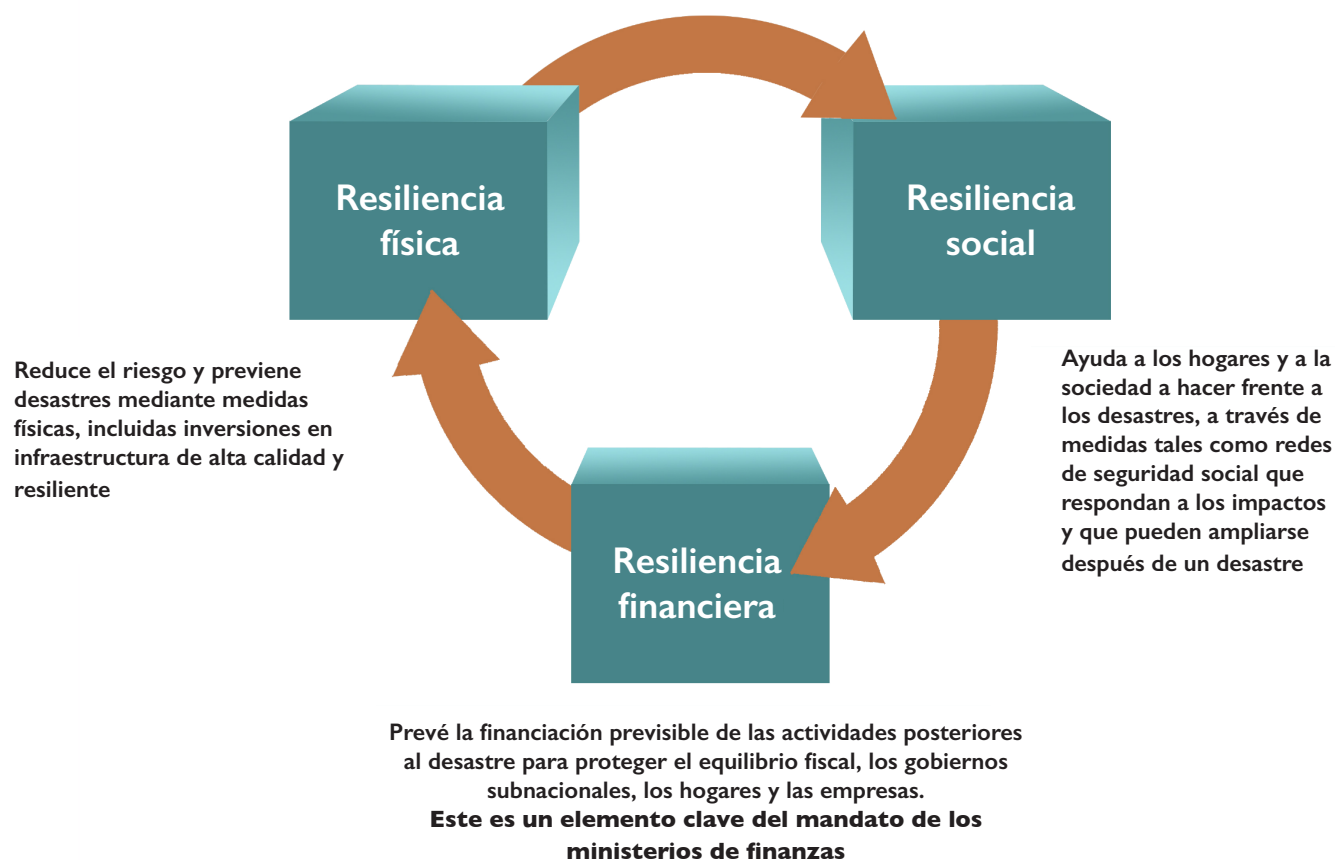
Se prevé que el cambio climático aumente la intensidad de las precipitaciones, y ya se ha observado en todo el mundo un aumento de las lluvias torrenciales vinculado al cambio climático (Met Office 2022). Se espera que este aumento de la intensidad de las precipitaciones incremente significativamente el riesgo de inundaciones pluviales (aguas superficiales), especialmente en las zonas urbanas, al tiempo que afecte también al riesgo de inundaciones fluviales (ríos). Mientras tanto, el crecimiento de la población y la urbanización están aumentando la concentración de bienes en lugares vulnerables, y también se espera que esto contribuya al aumento de pérdidas (Tellman 2021).

Las inundaciones frecuentes pueden causar suficientes trastornos en la salud, los medios de subsistencia y la economía como para obstaculizar a menudo el desarrollo y el crecimiento locales. Mientras tanto, las grandes catástrofes pueden causar una reducción significativa y repentina de la actividad económica y del PIB (Producto Interior Bruto), lo que afecta al crecimiento a largo plazo y al desarrollo económico de los países, obligando a más personas a caer en la pobreza. Estos efectos pueden abordarse mediante estrategias de gestión del riesgo de inundaciones (GRI) que combinen la gestión del riesgo de desastres (GRD), incluida la reducción del riesgo de desastres (RRD), y la financiación y el seguro del riesgo de desastres (FSRD). La GRD y la RRD tienen como objetivo prevenir nuevos riesgos de catástrofe y reducir los existentes mediante la reducción y gestión de las condiciones de peligro, exposición y vulnerabilidad (por ejemplo, mediante la protección contra inundaciones), mientras que la FSRD tiende a aumentar la resiliencia financiera de todas las partes interesadas mediante la financiación ex ante o la transferencia del riesgo residual.

Las estrategias de GRI son cada vez más comunes en los países de renta baja y media como forma de aumentar la resiliencia social, física y financiera ante las catástrofes (figura 1), debido en parte a la creciente disponibilidad de análisis para identificar el riesgo y los posibles efectos de las inundaciones. Sin embargo, mientras que estos análisis se utilizan para apoyar las decisiones en torno a la gestión o reducción del riesgo, la FSRD, y en particular la transferencia del riesgo, se considera a menudo con menos frecuencia. En algunos casos, esto puede deberse a una falta de comprensión de la transferencia de riesgos y su valor potencial, pero también puede ocurrir debido a la ausencia de análisis de riesgos suficientemente sólidos. Una estrategia sólida de resiliencia financiera debe sustentarse en una buena comprensión del riesgo a partir de datos y análisis de riesgo adecuados (Banco Mundial 2019) y los requisitos para ello suelen ser más particulares que los utilizados para apoyar una mayor resiliencia física y social.

## Figura 1: Tres elementos de la resiliencia ante los catástrofes.<sup>1</sup>

Fuente: Banco Mundial



La resiliencia financiera implica disponer de antemano financiación previsible para hacer frente a cualquier residuo que no pueda reducirse mediante la GRD y la RRD. Los instrumentos financieros ex ante incluyen fondos de reserva, líneas presupuestarias contingentes, créditos contingentes y soluciones de transferencia de riesgos basadas en el mercado, como los seguros y los bonos para catástrofes. Aunque los seguros contra inundaciones desempeñan un papel importante en la reducción de los impactos financieros de las inundaciones en los hogares, las empresas y el gobierno, incluso en los países de ingresos altos la prevalencia de los seguros contra inundaciones es muy variable, debido a la granularidad de los datos necesarios y a la incertidumbre en los resultados del modelo en comparación con otros riesgos naturales.

El objetivo de este informe es orientar a los profesionales del desarrollo sobre los aspectos clave de la elaboración de modelos de riesgo de inundación para apoyar las soluciones de Financiación y Seguro de Riesgos de Desastres (FSRD), especialmente en contextos de escasez de datos, y a los profesionales del sector de los seguros sobre los diferentes requisitos a la hora de elaborar modelos en las EMDE. El informe se centra únicamente en las inundaciones fluviales y pluviales debido a sus interdependencias y a la similitud de sus enfoques de modelización, y asume que se han aplicado enfoques de RRD y GRD y que, como parte de la gestión a largo plazo del riesgo residual, se requieren FSRD y transferencia de riesgos.

Este informe examina los procesos y retos que plantea el desarrollo de modelos que respalden la colocación de soluciones de indemnización (pago basado en la experiencia de pérdidas) o paramétricas (pago basado en un conjunto predefinido de parámetros de eventos). Debido a sus ventajas en áreas con datos y capacidad limitados, el informe hace mayor hincapié en el seguro paramétrico.

<sup>1</sup> Contribución técnica del Banco Mundial a la Reunión de Ministros de Finanzas y Gobernadores de Bancos Centrales del G20 de 2019 - Impulsar la resiliencia financiera a las perturbaciones provocadas por catástrofes: Buenas prácticas y nuevas fronteras

## 2. Modelización de catástrofes por inundaciones para apoyar la toma de decisiones basadas en el riesgo

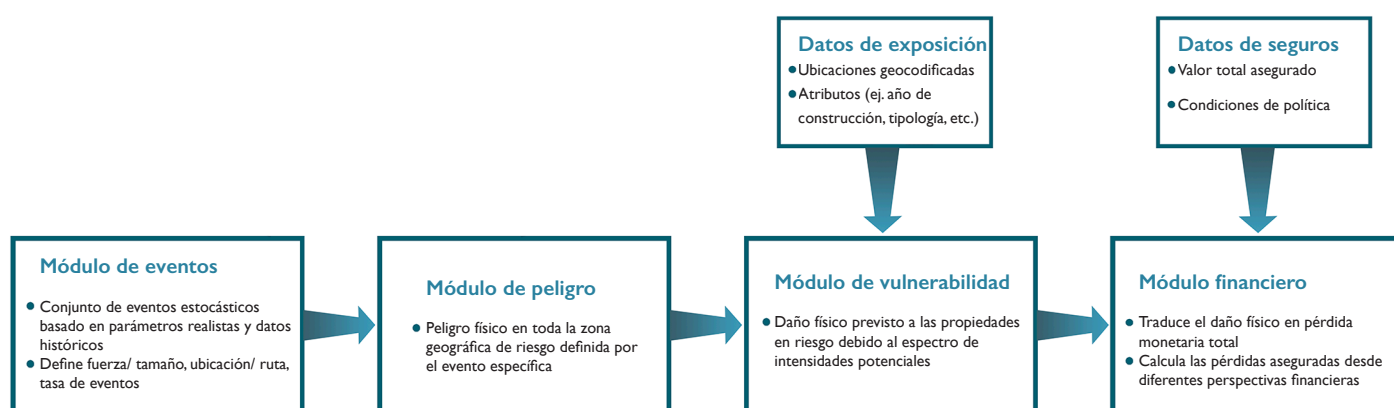
El sector financiero lleva más de 30 años utilizando modelos de riesgo de catástrofes para evaluar y gestionar el riesgo de catástrofes naturales y no naturales. La modelización del riesgo de inundación proporciona una metodología para que todas las partes interesadas (por ejemplo, aseguradoras, reaseguradoras y cedentes, incluidos los gobiernos) comprendan mejor el impacto potencial de las inundaciones cuantificando el riesgo en términos de pérdidas monetarias o de personas afectadas. De este modo se apoya el desarrollo de estrategias GRI eficaces, en particular las estrategias FSRD que incluyen un enfoque de estratificación de riesgos para proporcionar suficiente liquidez financiera a través de instrumentos financieros predeterminados para una respuesta rápida y eficaz tras la catástrofe. Los modelos respaldan la toma de decisiones informadas sobre el riesgo como parte de las estrategias de GRI al permitir:

- La estimación del riesgo y la creación de perfiles de riesgo de catástrofe para analizar las pérdidas sobre una base media anual y debidas a sucesos extremos, utilizando conjuntos de sucesos simulados que proporcionan una mejor imagen de aquellos sucesos extremos que no están bien representados en los registros históricos por sí solos.
- Análisis coste-beneficio de varias opciones de RRD y adaptación, incluidas las inversiones en estructuras y soluciones basadas en la naturaleza.
- La tarificación del riesgo de inundación, para determinar un instrumento, una estructura y una prima de seguro adecuados para productos de transferencia de riesgo

La modelización del riesgo de inundaciones no era posible antes de que aumentara la potencia informática, hace aproximadamente 15-20 años, cuando se hizo posible modelizar la dinámica de las inundaciones a escala de todo un país. Esta mejora de la tecnología, junto con la publicación de modelos digitales del terreno (MDT) y datos LiDAR (detección y alcance de la luz, LiDAR por sus siglas en inglés Light Detecting and Ranging) por parte de los gobiernos, ha sido el motor de la mayor cantidad de modelos de inundaciones disponibles, y ahora los modelos cubren los principales tipos de inundaciones descritos en el cuadro 1.

**Figura 2: Esquema del proceso de modelización de catástrofes.**

Fuente: Elaboración propia



Un modelo de riesgo de catástrofe consta de cuatro módulos básicos (figura 2), estos son (i) un módulo de eventos, que caracteriza la frecuencia y severidad de muchos miles de eventos simulados plausibles; (ii) un módulo de amenazas, que determina la intensidad de la amenaza (por ejemplo, la profundidad de la inundación) asociada a cada evento; (iii) el módulo de vulnerabilidad, que relaciona la intensidad de la amenaza con el daño físico esperado a los activos o el impacto en la población; y (iv) el módulo financiero, que convierte el daño esperado en una estimación de pérdidas financieras, teniendo en cuenta las condiciones de la póliza de seguros en su caso. Además de estos cuatro módulos, hay dos entradas de datos: (i) datos de exposición, que describen la distribución y las características de la población y los activos; (ii) datos de seguros que proporcionan los términos y condiciones de las pólizas en contextos de FSRD. En GFDRR (2014) se ofrece una amplia descripción de los procesos de evaluación de riesgos y en Mitchell-Wallace, et al. (2017) y Michel (2018) se describe el desarrollo y la aplicación de modelos de catástrofes.

Durante el proceso de modelización, un modelo de riesgo de catástrofe debe tener en cuenta tanto la incertidumbre aleatoria (variación de los resultados debida a la aleatoriedad inherente) como la incertidumbre epistémica (variación de los resultados debida a la falta de conocimiento) para proporcionar no sólo una estimación del riesgo, sino también la gama de posibles pérdidas en torno a esta estimación.

Los modelos propietarios de riesgo de inundación han dominado el sector de los seguros durante muchos años porque se han convertido en un estándar dentro de la industria y están respaldados por equipos especializados de desarrollo y asistencia al cliente. Sin embargo, el desarrollo de estos modelos se ha priorizado en países con mercados de seguros bien establecidos, para garantizar la rentabilidad de la inversión. Cada vez se elaboran más modelos para regiones con mercados de seguros menos maduros, pero suele tratarse de modelos globales, modelos internos que no se difunden ampliamente o modelos específicos de un país elaborados por consultores en el marco de proyectos del sector del desarrollo, que a menudo no se difunden de forma continua. Como resultado, aún existen muchos países donde no existen modelos en uso activo por la industria.

Los modelos abiertos de riesgo de inundación ofrecen oportunidades para que el sector asegurador y los expertos locales colaboren en la modelización de inundaciones (cuadro 2). Esto puede mejorar los modelos y la información sobre riesgos y contribuir significativamente a mejorar la capacidad de análisis de riesgos en los países de ingresos bajos y medios, donde las barreras de acceso a la información sobre riesgos dificultan la toma de decisiones informadas sobre riesgos (Insurance Development Forum 2020). La modelización abierta del riesgo también puede permitir a los expertos del país apropiarse y mantener sus propios puntos de vista sobre el riesgo mediante la mejora de la usabilidad, la transparencia y la elección de modelos y datos, y una mayor capacidad para comparar e interrogar las percepciones del riesgo (Iniciativa Internacional sobre el Clima 2020). En contextos de escasez de datos, la mayor transparencia de los supuestos y las limitaciones, y el mayor potencial de los usuarios para probar y ajustar los componentes del modelo pueden contribuir a una mejor comprensión de la modelización de inundaciones para FSRD.

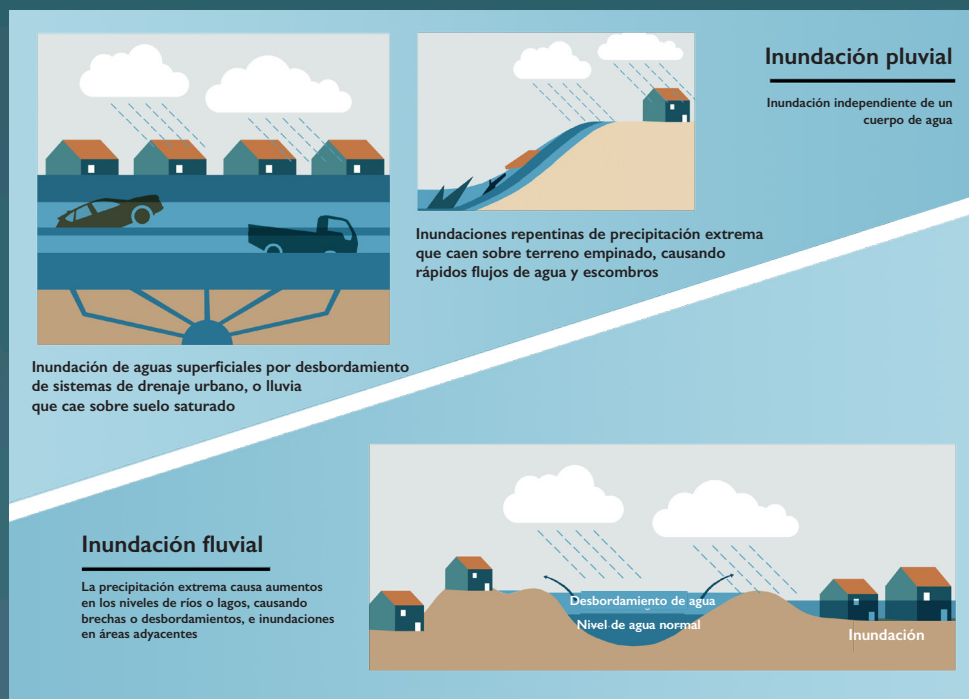
Las siguientes secciones se centrarán más en los procesos y datos que deben incluirse en cada componente para apoyar las aplicaciones FSRD, y los retos para alcanzar este nivel de análisis en contextos de escasez de datos.

## Cuadro I: Tipos de riesgo de inundación

Las inundaciones se suelen clasificar como fluviales, pluviales o costeras, aunque hay otras fuentes de inundación, como las crecidas de aguas subterráneas, la rotura de presas, los tsunamis, las crecidas por deshielo de primavera y las crecidas por desbordamiento de lagos glaciares.

### Figura 3: Esquema de los mecanismos de inundación pluvial y fluvial.

Fuente: Elaboración propia



Las inundaciones fluviales o inundaciones por desbordamiento de río se producen cuando el volumen de agua en el cauce de un río supera la capacidad de carga de dicho cauce, provocando la rotura de sus defensas o el desbordamiento de sus márgenes. La gravedad de una inundación fluvial viene determinada por la aparición de un caudal máximo en el cauce, en el que influyen el volumen y la intensidad de las precipitaciones, pero también el momento y la duración de las precipitaciones en diferentes partes de la cuenca, la confluencia de varios cauces fluviales, la aparición del deshielo estacional y el almacenamiento del exceso de caudal (por ejemplo, presas, embalses o almacenamiento en la llanura de inundación). Las condiciones particulares del suelo (por ejemplo, suelo duro debido a la sequía, o saturado debido a largos periodos húmedos), los sistemas de drenaje artificial y las superficies sin vegetación o menos permeables suelen acelerar la escorrentía del agua hacia los cauces fluviales, lo que contribuye a elevar los picos de crecida, en comparación con las condiciones en las que el agua puede infiltrarse más lentamente a través de la cuenca y llegar al río de forma más gradual, reduciendo el caudal máximo.

Las inundaciones pluviales incluyen las inundaciones de aguas superficiales, las inundaciones repentinas y las escorrentías de tormentas, todas ellas debidas a episodios de precipitaciones de gran intensidad que superan la capacidad de drenaje del suelo o de los sistemas de drenaje, lo que provoca inundaciones en la superficie. En las inundaciones pluviales, el agua puede “estancarse” en pequeñas depresiones del terreno o provocar un torrente de agua que fluye por el suelo, dependiendo de la pendiente de la ladera y de otros factores. Normalmente, las inundaciones pluviales son de corta duración y afectan sólo a una zona localizada.

Estos dos tipos de inundaciones pueden producirse de forma independiente, pero las inundaciones suelen consistir tanto en inundaciones fluviales como pluviales. Puede ser difícil determinar qué tipo de inundación es responsable de las pérdidas del suceso y diferenciar entre los impactos de estos tipos de inundación en comparación con las inundaciones costeras, las mareas de tempestad o la entrada de agua debido a los daños causados por el viento.

## Cuadro 2: Modelización del riesgo abierto

El grupo directivo de modelización de riesgos del foro de seguros para el desarrollo (IDF, por sus siglas en inglés Insurance Development Forum) defiende y emplea la modelización abierta de riesgos en sus objetivos de democratizar la información sobre riesgos y aumentar la capacidad de análisis de riesgos para permitir una mayor resiliencia financiera (IDF 2020).

Un modelo de riesgo abierto es un modelo que está disponible para que cualquiera pueda reutilizarlo. Puede considerarse un bien público digital: un bien o servicio en formato digital al que cualquiera puede acceder o del que puede beneficiarse sin excluir o disminuir su beneficio para los demás (UNDRR y GFDRR 2022). Oasis Loss Modelling Framework, OpenQuake, Climada, CAPRA y RiskScape son ejemplos de plataformas de modelización de riesgos de código abierto en las que se pueden crear y ejecutar modelos de riesgo. Los modelos de riesgo abiertos pueden interrogarse más fácilmente para comprender sus enfoques e hipótesis, y compararse más fácilmente con otros modelos.

Algunos modelos utilizan software de código abierto que permite a cualquiera utilizarlo, estudiarlo, modificarlo y distribuirlo. La documentación de los modelos abiertos debe estar disponible en Internet de forma gratuita y sin barreras de acceso o reutilización. Los modelos abiertos deben utilizar y producir procesos y datos que se adhieran a normas abiertas, es decir, requisitos o definiciones establecidos que se pongan a disposición del público y se desarrollen mediante un proceso de colaboración y consenso.

## 2.1 Requisitos y retos de los módulos de sucesos y peligros

Juntos, los módulos de sucesos y peligros describen la frecuencia y gravedad de las posibles inundaciones. El módulo de sucesos comprende un conjunto de sucesos estocásticos, es decir, un catálogo de sucesos plausibles simulados basados en parámetros realistas y en sucesos históricos. Un conjunto de sucesos estocásticos proporciona una visión más completa de los posibles sucesos que el registro histórico, que suele tener una duración demasiado corta y contener información incompleta para ser una guía fiable del riesgo extremo. Se describen las características clave de cada suceso: localización, gravedad o intensidad, y tasa o frecuencia de ocurrencia. El módulo de peligro describe la distribución de la intensidad del peligro, normalmente la profundidad de la inundación, dentro y fuera de la llanura de inundación para sucesos individuales y sucesos con periodos de retorno representativos (por ejemplo, periodos de retorno de 1 en 10 o 1 en 100 años) contenidos en el conjunto de sucesos estocásticos. Esto se utiliza como base para estimar los impactos de cada suceso, que posteriormente se combinan para generar una curva de probabilidad de superación y estadísticas de pérdidas. En los siguientes apartados se describen los procesos aplicados para determinar la peligrosidad de las inundaciones fluviales y pluviales, así como los retos que plantea la aplicación de estas técnicas de modelización para apoyar el diseño de soluciones FSRD.

### 2.1.1 Modelización de inundaciones fluviales

Se pueden utilizar varios enfoques para modelizar el riesgo de inundaciones fluviales, y los requisitos de datos de entrada varían en función del enfoque (figura 4). Los modelos suelen tener en cuenta la intensidad, duración y distribución espacial de las precipitaciones, las características de la cuenca (terreno, geología y cubierta vegetal), las condiciones previas (es decir, la saturación del suelo), los niveles del río, la temperatura para captar los niveles de evapotranspiración y los datos históricos de descarga.

Normalmente, los modelos hidráulicos de los modelos de catástrofes se utilizan para estimar la distribución de la intensidad de las inundaciones, aunque también se pueden utilizar datos de observación de la tierra para caracterizarla. Los modelos hidráulicos utilizan como dato de entrada el volumen de agua que fluye por el cauce (“caudal”), en forma

de hidrogramas que describen el momento y el volumen máximo de los caudales extremos. El modelo hidráulico simula el flujo de caudal a través de la red fluvial, incluida la influencia de las dimensiones y la rugosidad del cauce, o los controles de caudal. Cuando los caudales superan la capacidad del canal, el modelo simula la cantidad de agua que fluirá por la llanura de inundación y dónde ocurrirá.

Se requiere un paso anterior para generar los hidrogramas, y esto se puede hacer de dos maneras. La primera utiliza un modelo estadístico para extrapolar los valores extremos de descarga o caudal a partir del conjunto de datos históricos de los aforadores; este enfoque requiere que se hayan registrado los niveles históricos del agua y la descarga utilizando aforadores durante un periodo de tiempo significativo, generalmente de al menos 30 años. Si existen estos datos, la distribución de probabilidad de la descarga puede calcularse directamente a partir de los datos de los aforadores fluviales para identificar posibles fenómenos frecuentes y extremos. La ventaja de este enfoque es que proporciona la representación más exacta tanto de los fenómenos frecuentes como de los extremos. Sin embargo, depende de la buena disponibilidad y calidad de los datos de los caudalímetros y, como esto suele faltar en los países en vías de desarrollo, es necesario utilizar métodos alternativos.

El segundo enfoque consiste en utilizar modelos de precipitación-escorrentía, que incorporan modelos hidrológicos para estimar el caudal a partir de datos meteorológicos (en concreto, precipitaciones y temperatura) y datos de la cuenca sobre elevación, tipo de suelo y uso de la tierra. El modelo hidrológico calcula la acumulación de las precipitaciones caídas en cualquier lugar del dominio del modelo y dirige el agua hacia la cuenca fluvial, dependiendo del momento y el volumen de agua que llega a la red fluvial de las tasas de evapotranspiración, el flujo superficial y las tasas de infiltración, entre otros factores. Este planteamiento se basa en representaciones informatizadas de las cuencas hidrográficas que, a menudo, están simplificadas y no reflejan la realidad, incluida la influencia humana, que puede afectar significativamente a las relaciones lluvia-escorrentía e introducir una mayor incertidumbre en el modelo. Sin embargo, la ventaja de este enfoque es que las condiciones previas pueden representarse mejor que cuando se utilizan datos de descarga y requiere conjuntos de datos que suelen estar más disponibles en regiones con escasez de datos.

Para este segundo enfoque, existen dos métodos en función de la disponibilidad de datos sobre precipitaciones y caudales: cuando existen buenos registros históricos, éstos pueden utilizarse directamente en un modelo de precipitaciones-escorrentía con un modelo estocástico de caudales fluviales utilizado para simular eventos de caudales fluviales con diferentes frecuencias anuales. Cuando se carece de datos, se pueden utilizar los conjuntos de datos de precipitaciones cuadrículados (CDPC) para simular decenas o cientos de miles de eventos plausibles de precipitación, que se utilizan para estimar la descarga fluvial asociada a las diferentes frecuencias anuales de precipitación.

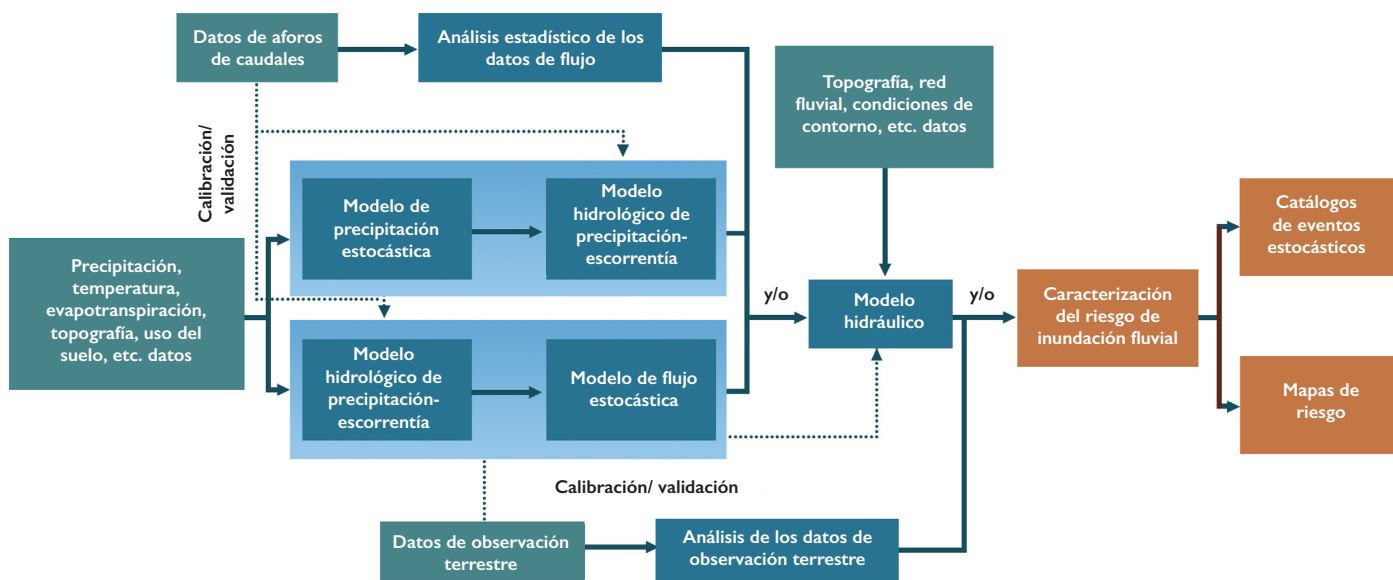
La elección global del enfoque utilizado viene determinada por la disponibilidad y la calidad de los datos, los conocimientos técnicos disponibles para trabajar con los conjuntos de datos y los requisitos de transferencia de riesgos de una aplicación. En el cuadro 3 se presenta un ejemplo de modelización.

Una vez calculadas las estimaciones de las descargas extremas, es necesario desarrollar matrices de correlación para garantizar que el conjunto de eventos estocásticos sigue las mismas propiedades estadísticas que las series temporales históricas. Esto incluye la correlación entre los máximos anuales a través de todos los mecanismos causales y ubicaciones (por ejemplo, dos inundaciones del mismo tipo en dos ubicaciones cercanas están fuertemente correlacionadas mientras que las inundaciones de diferentes tipos y en ubicaciones distantes están mucho menos correlacionadas) y que la probabilidad de estos máximos anuales dentro de un evento y a través de múltiples eventos concuerda con la serie temporal histórica.

## Figura 4: Ejemplos de enfoques para caracterizar el riesgo de inundaciones fluviales.

Las entradas clave se muestran en verde, los componentes del modelo en azul y los resultados en naranja. Las líneas de puntos muestran otra posible participación de esa caja en otra parte del proceso.

Fuente: Elaboración propia



### Cuadro 3: Aplicación de modelos probabilísticos al análisis de riesgos en apoyo de la financiación del riesgo de catástrofes en la región CAREC.

El Programa de Cooperación Económica Regional de Asia Central (CAREC, por sus siglas en inglés Central Asia Regional Economic Cooperation) es una asociación de 11 países que fomenta el crecimiento y reduce la pobreza mediante la colaboración. CAREC cuenta con el apoyo financiero del Banco Asiático de Desarrollo (BAD) para identificar oportunidades de utilizar la financiación del riesgo de catástrofes con el fin de transferir al sector financiero algunos de los impactos financieros de graves inundaciones y terremotos. Para diseñar la transferencia de riesgos es fundamental realizar un análisis exhaustivo del riesgo de peligros naturales. Un consorcio formado por WTW, JBA, GEM y ODI colaboró en el desarrollo de una visión de las repercusiones económicas y sociales de los fenómenos peligrosos y en la creación de una interfaz de fácil uso para presentar los datos a los no especialistas.

El modelo probabilístico de riesgo de inundación de JBA es el primero del mercado que ofrece una cobertura global. Para el proyecto CAREC, esto ofreció un modelo de inundaciones de base al que se hicieron refinamientos localizados. El modelo de riesgo incluye dos componentes: mapas de inundaciones con una resolución de 30m y un amplio conjunto de eventos de inundación simulados. Los datos pluviométricos históricos modelizados, conocidos como datos de reanálisis, son la base de ambos componentes: el conjunto de sucesos utiliza técnicas estadísticas avanzadas para crear un conjunto de datos mucho mayor que permite estimar el riesgo de sucesos extremos, mientras que los mapas de inundaciones utilizan los mismos datos de reanálisis, alimentados en complejos modelos hidrológicos e hidráulicos. El marco flexible en el que se inserta el componente de peligrosidad significa que las entradas de exposición y vulnerabilidad podrían actualizarse fácilmente para perfeccionar los resultados requeridos dentro del proyecto.

Se prevé que el perfeccionamiento de la modelización de riesgos y el desarrollo de opciones de transferencia de riesgos tengan lugar en los países piloto, incluida la celebración de debates con las partes interesadas locales en torno a la disponibilidad de datos locales para la validación del modelo.



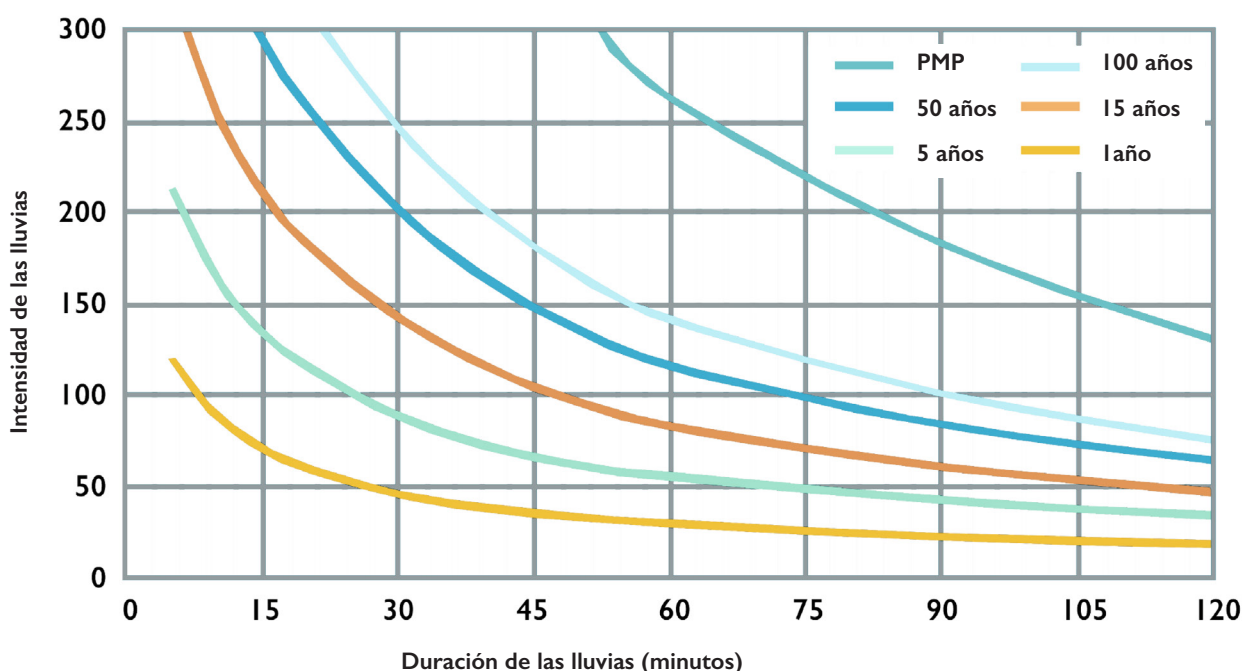
## 2.1.2 Modelización de inundaciones pluviales

La modelización de las inundaciones pluviales sigue un enfoque similar al de la modelización fluvial, pero se centra en la estimación del volumen de agua que fluye hacia las depresiones (puntos bajos) del terreno y se acumula en ellas. Normalmente, se utiliza un conjunto de datos de valores máximos de precipitación para desarrollar curvas de intensidad-duración-frecuencia (figura 5) que describen la cantidad de precipitación que se produce en eventos de diferente duración, con diferentes frecuencias anuales. Las zonas pequeñas pueden estar bien representadas por una sola curva de intensidad-duración-frecuencia, mientras que una región grande puede tener muchas para reflejar la variación de los patrones regionales de precipitaciones. Los valores de precipitación de los periodos de retorno seleccionados pueden extraerse de las curvas de intensidad-duración-frecuencia y utilizarse como datos de entrada en el modelo hidráulico. A continuación, el modelo hidráulico simula la evapotranspiración, la infiltración y el flujo superficial del volumen de agua, lo que da como resultado una estimación de los lugares con más probabilidades de sufrir inundaciones pluviales con profundidades de inundación estimadas para diferentes periodos de retorno o frecuencias anuales.

### Figura 5: Ejemplo de curvas intensidad-duración-frecuencia.

Cada curva describe la relación observada / esperada entre la intensidad y la duración de las precipitaciones, para eventos pluviométricos de diferente frecuencia en años de periodo de retorno, incluyendo la Precipitación Máxima Probable (PMP).

Fuente: Imagen reproducida con permiso de Impact Forecasting.



Dos cuestiones que complican la modelización del riesgo de inundaciones pluviales son la escala de modelización necesaria y la topografía del terreno. Cuando se modela el riesgo de inundaciones pluviales a gran escala (por ejemplo, en varios países) puede ser más realista aplicar enfoques alternativos cuando se carece de recursos informáticos o de datos de apoyo suficientes. Por ejemplo, evaluar la propensión de una zona a las inundaciones superficiales basándose en la posibilidad de que el agua de la inundación drene y se estanque allí (cartografía de la susceptibilidad a las inundaciones) puede ser suficiente para caracterizar el peligro y la exposición en zonas de alto riesgo de inundación, pero carece de la cuantificación de los daños potenciales. La modelización de inundaciones pluviales también es difícil en terrenos montañosos donde hay grandes cambios de elevación en distancias cortas. En estas zonas, los modelos digitales de elevación (MDE) y los modelos digitales del terreno (MDT) suelen tener una resolución insuficiente para permitir la resolución completa de las inundaciones pluviales y se requieren realizaciones más detalladas de la topografía (véase el cuadro 4).

### 2.1.3 Principales retos de la modelización de riesgos de inundaciones fluviales y pluviales

La modelización de los riesgos de inundación plantea numerosos retos, entre ellos que los procesos físicos de las inundaciones están muy localizados, caracterizándose por una importante variabilidad espacial de las precipitaciones y unas condiciones de las cuencas y los cauces fluviales muy variables (espacial y temporalmente). De las distintas hipótesis, procesos y datos sobre estos puntos pueden derivarse diferencias muy significativas en las pérdidas estimadas, variando el enfoque de modelización más adecuado en función de la información específica requerida para el uso final, los datos disponibles y las exigencias computacionales. Como para todos los peligros, el riesgo de inundación es muy dinámico y puede cambiar con el tiempo debido a muchos factores (GFDRR 2016).

Algunos de los principales retos asociados a los datos clave para la modelización de inundaciones son:

- **Las condiciones previas** influyen mucho en la respuesta de la red fluvial, la llanura de inundación y las zonas fuera de ella a las precipitaciones extremas. En periodos húmedos, los canales pueden estar cerca de su capacidad y los suelos pueden estar saturados, lo que provoca que un mayor volumen de agua fluya por tierra en lugar de infiltrarse en el suelo. Es difícil evaluar la posibilidad de que varios fenómenos agraven el peligro, pero es un elemento clave del enfoque de modelización. A medida que cambia el clima, los cambios en la estacionalidad y la agrupación de las precipitaciones pueden afectar a las condiciones previas, añadiendo una influencia adicional en la probabilidad y gravedad de las inundaciones en caso de precipitaciones intensas.
- Las limitaciones de **los datos pluviométricos** pueden superarse utilizando conjuntos de datos mundiales sobre precipitaciones o datos de reanálisis climáticos que proporcionan parámetros atmosféricos (temperatura, presión, viento) y parámetros de superficie como precipitaciones, humedad del suelo y temperatura de la superficie del mar. Las estimaciones de precipitaciones a partir de datos de satélite son menos directas y menos precisas que las de los medidores o los radares, pero pueden ofrecer una cobertura coherente, por ejemplo, con una resolución de 4 km, sobre una base diaria / subdiaria. Estos conjuntos de datos están más disponibles que los datos de descarga y ofrecen una cobertura casi global, pero pueden contener altos niveles de sesgo y a menudo no pueden capturar la intensidad de las precipitaciones localizadas, debido a las grandes celdas de cuadrícula, que son especialmente necesarias para simular con precisión las inundaciones repentinas.

Hay varios conjuntos de datos disponibles; sus entradas, metodologías y sesgos varían en función de la región de interés y el tipo de precipitación dominante (Maidment 2017), y las decisiones sobre cuál utilizar deben basarse en la aplicación prevista y la región objetivo. Entre ellas se incluye la misión Mediciones de Precipitación Global (GPM, por sus siglas en inglés Global Precipitation Measurement) (NASA s.f.), que se basa en las anteriores aplicaciones tópicas de la meteorología mediante satélites (TRMM, por sus siglas en inglés Tropical Rainfall Measuring Mission). GPM es el origen del producto de cartografía mundial de precipitaciones por satélite (GSMaP, por sus siglas en inglés Global Satellite Mapping of Precipitation), que proporciona datos globales de intensidad de precipitación horaria con una resolución de 0,1 grados. Desde 1981, el Grupo de Riesgos Climáticos Precipitación por infrarrojos con estaciones (CHIRPS, por sus siglas en inglés Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Stations) proporciona datos con una resolución de 0,05 grados hasta una resolución diaria (Funk et al. 2014). Los productos regionales pueden proporcionar datos de mayor resolución, como el TAMSAT (datos de 0,0375 grados desde 1983 a intervalos de 5 días) (Maidment, Black, and Young 2017) y la African Rainfall Climatology (climatología africana de precipitaciones) (datos de 0,1 grados desde 1983 a intervalos de 10 días como mínimo) (ICPAD n.d.)

- **Las observaciones** (registros históricos) de las precipitaciones, los caudales fluviales y los niveles de agua en el cauce y en la llanura de inundación son vitales para desarrollar conjuntos de eventos estocásticos que representen la realidad y la verdadera relación entre precipitaciones y caudales en cada cuenca. En el caso de las EMDE, a menudo sólo se dispone de datos para períodos cortos o pueden ser incompletos o inexactos, y no proporcionan una imagen fiable de las medias a largo plazo o de los extremos. La densidad temporal de las observaciones con una frecuencia inferior a la diaria (por ejemplo, horaria) es importante para captar los episodios de precipitaciones intensas de corta duración. La densidad espacial de las observaciones en las estaciones pluviométricas es necesaria para comprender los patrones pluviométricos en grandes cuencas.

Las lagunas en cualquiera de ellas pueden impedir que un modelo represente con precisión los patrones temporales y espaciales de las precipitaciones. Cuando se utilizan datos de observación, también hay que tener en cuenta los cambios en el riesgo debidos a factores externos (por ejemplo, el cambio climático y el crecimiento de la población o de los activos). Las observaciones también pueden incluir la evaluación de la huella de la inundación o la extensión máxima de la inundación. Estos datos pueden obtenerse a partir de datos de observación de la tierra, fuentes de datos de terceros y/o cartografía de campo. Sin embargo, estos datos no siempre reflejan la extensión máxima, por lo que puede ser necesaria cierta interpretación. Por ejemplo, los datos de observación de la tierra disponibles dependen de la hora en que se tomó la imagen de satélite, su tasa de sobrepaso y la presencia de nubosidad durante el suceso.

- **La representación de la elevación y de las características** de la superficie se considera una de las influencias más importantes, si no la más importante, en la precisión de los modelos de inundación, ya que las variaciones en la elevación de la superficie del suelo en distancias cortas pueden influir enormemente en la profundidad de inundación y en los patrones espaciales. Normalmente, los actuales modelos regionales o nacionales de riesgo de inundación para FSRD utilizan MDE globales con una resolución de 30-90 m. La última versión mejorada de éstos es FABDEM, aunque existen fuentes de datos adicionales que, cuando están disponibles, pueden proporcionar un mayor detalle (figura 6). Aunque la calidad de los MDE globales está aumentando, éste sigue siendo uno de los principales factores limitantes para la modelización de inundaciones (ver Cuadro 4).

La resolución de los datos de elevación afecta a la modelización del flujo de varias maneras:

- » Representar la posición y la extensión de los canales fluviales ('hidrografía de canales') y las masas de agua permanentes para simular correctamente cómo se encamina el agua a través de la red fluvial, o se retiene en masas de agua o llanuras aluviales. MERIT Hydro (Yamazaki, et al. 2019) proporciona un conjunto de datos de hidrografía global reciente derivado de MERIT DEM (Yamazaki, et al. 2017).
  - » Representan los puntos altos o bajos de pequeñas extensiones, por ejemplo, zanjas, bermas, carreteras o vías férreas elevadas o rebajadas, que pueden bloquear, desviar el flujo y provocar encharcamientos.
  - » La representación de elementos que afectan a la hidráulica de los canales, incluidos los puentes, puede bloquear y redirigir el agua durante la simulación, a menos que se eliminen del conjunto de datos.
- **Los datos batimétricos** describen el lecho del río y son fundamentales para comprender cómo fluye el agua dentro de los ríos y son de especial importancia para evaluar el riesgo de inundaciones fluviales. Sin embargo, estos datos no suelen estar disponibles en las EMDEs, por lo que debe suponerse la capacidad de flujo del canal.
  - **Los controles medioambientales** de la peligrosidad de las inundaciones no son estacionarios, ya que se ven afectados por el entorno natural cambiante, las influencias humanas en el control de los canales (construcción de presas o protección contra inundaciones, dragado o revestimiento de canales) y las influencias humanas en la cubierta terrestre (por ejemplo, urbanización). Estas influencias también afectan a la rugosidad de la superficie del terreno, que es un importante factor de control de la velocidad del flujo y suele tenerse en cuenta aplicando coeficientes de rugosidad de la superficie, en función del tipo de vegetación o del entorno construido presente. La obtención de mapas actualizados y de alta resolución de la ocupación del suelo es importante para estimar la rugosidad y su variación, algo de lo que tampoco se suele disponer en el caso de las EMDEs.
  - **La protección contra las inundaciones**, como las presas, y el drenaje urbano pueden limitar la inundación dentro de las zonas modelizadas, pero representarlos en el modelo es un reto debido a la cantidad limitada de datos sobre la ubicación, el diseño y el nivel de protección que ofrecen tanto la protección física contra las inundaciones como las redes de drenaje, y las decisiones sobre el almacenamiento frente a la liberación de las presas. Esto es un reto aún mayor para las soluciones basadas en la naturaleza y, a menudo, éstas se modelizan utilizando un método similar al de la protección física contra las inundaciones - se requiere más investigación para mejorar el enfoque. A menudo se hacen suposiciones amplias y generalizadas para estimar el área defendida y el nivel de protección contra las inundaciones fluviales, pero la falta de datos sobre las redes de drenaje puede ser un problema crítico en la modelización del riesgo pluvial. Se han hecho intentos de catalogar los estándares de protección contra inundaciones y el más significativo hasta la fecha es FLOPROS (Scussolini et al. 2016).

- **El cambio climático** es un reto importante para los modelos prospectivos de inundaciones debido a la necesidad de modelizar cómo afectará el cambio climático, región por región, a la estacionalidad, frecuencia e intensidad de las precipitaciones y las inundaciones a través de cambios en las precipitaciones y la temperatura. Aunque las proyecciones a largo plazo del cambio climático son bastante inciertas, la relación Clausius-Clapeyron (por cada grado de aumento de la temperatura, la atmósfera puede retener un 7 por ciento más de humedad) explica por qué se espera que aumente el riesgo de inundaciones en muchos lugares.

Los efectos del cambio climático sobre las inundaciones se están incorporando a los modelos de inundaciones para estimar cómo será el riesgo de inundaciones en el periodo comprendido entre 2030 y 2100. Los creadores de modelos están elaborando visiones “climáticamente condicionadas” del riesgo futuro de inundaciones para ayudar a los responsables de la toma de decisiones. Están surgiendo varios enfoques, utilizando los resultados de los modelos climáticos mundiales y regionales, que estiman las condiciones climáticas en cada uno de los escenarios de la trayectoria de concentración representativa (RCP, por sus siglas en inglés Representative Concentration Pathway). La frecuencia o intensidad de las precipitaciones extremas y de los caudales de las corrientes de agua puede ajustarse en el modelo de inundación, de manera que los fenómenos extremos se describan con las frecuencias previstas en condiciones climáticas futuras, en lugar de la frecuencia histórica derivada de los datos de reanálisis. En Alfieri et al. 2015 se describe con más detalle un ejemplo de enfoques para evaluar la peligrosidad futura de las inundaciones.

## 2.1.4 Nuevos enfoques para la modelización de inundaciones en entornos con escasez de datos

Como se ha mostrado anteriormente, los métodos tradicionales para la cartografía de inundaciones utilizan modelos hidrodinámicos e hidráulicos complejos, que a menudo incorporan ecuaciones de aguas someras en varias dimensiones (1D-3D) y requieren una variedad de entradas de datos, incluidas las tasas de flujo, la temperatura, la rugosidad del lecho, las condiciones del viento, etc. (Jovanovic et al. 2019). El amplio requisito de datos de estos modelos limita su usabilidad en entornos con escasez de datos.

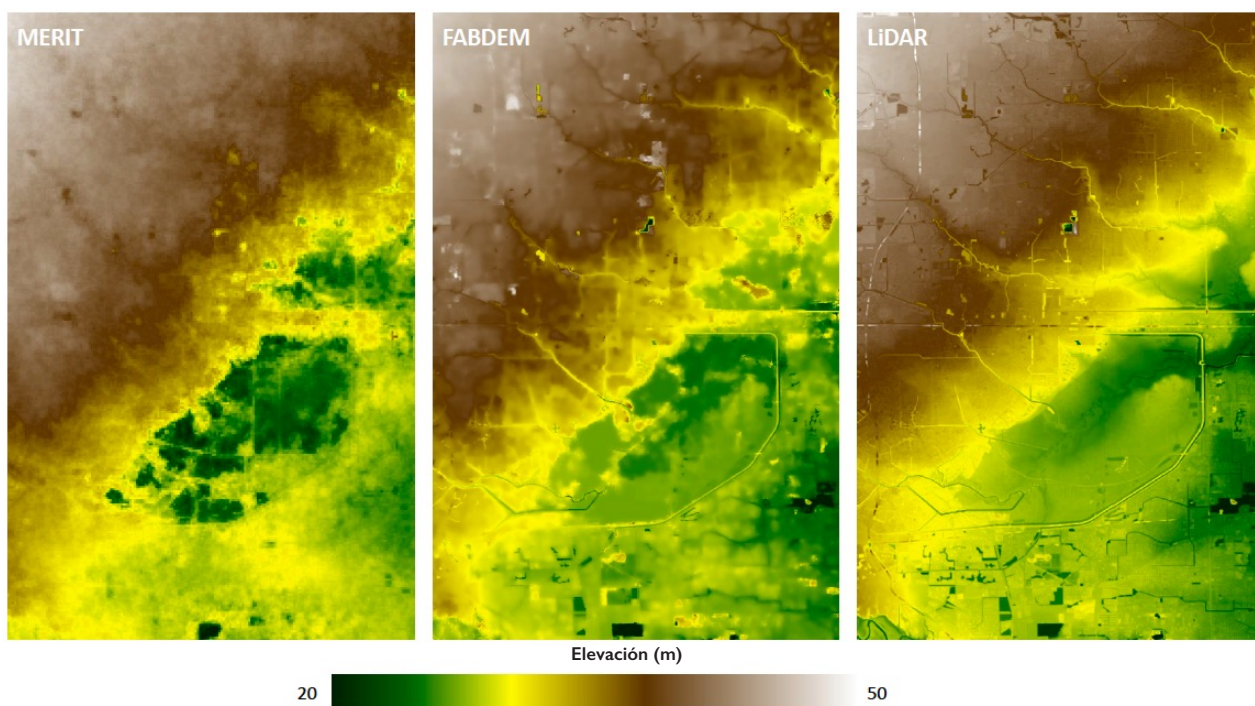
Un enfoque alternativo consiste en utilizar modelos de inundación simplificados, en particular el modelo Altura sobre el desagüe más próximo (HAND, por sus siglas en inglés Height Above Nearest Drainage), que ha mostrado importantes ventajas en las pruebas realizadas frente a los métodos tradicionales. El modelo HAND estima la extensión de las inundaciones mediante la normalización de los datos topográficos a través del cálculo de la diferencia entre la elevación de una celda de la cuadrícula de la tierra y la elevación de la celda de la cuadrícula del río que se estima que drena a través de simulaciones de flujo (Nobre et al. 2011).

Además, los nuevos enfoques de modelización de inundaciones globales combinan nuevos descubrimientos en hidrología y aprendizaje automático para predecir la extensión y profundidad de las inundaciones en regiones con escasez de datos, basándose en zonas climatológica y topográficamente similares en las que existen datos detallados. Sin embargo, hay que tener en cuenta que se necesitan suficientes mapas de inundaciones desarrollados a partir de modelos de inundaciones de alta resolución para que el entrenamiento de estos modelos de aprendizaje automático produzca buenos resultados.

### Figura 6: Comparación de los datos de elevación en los alrededores de Houston, Estados Unidos.

De izquierda a derecha, los conjuntos de datos muestran una resolución creciente de los datos, en la que las características naturales (por ejemplo, los canales que fluyen desde terrenos elevados) y artificiales (por ejemplo, la red de carreteras elevada con respecto a los terrenos circundantes) están cada vez mejor resueltas y, por lo tanto, mejor representadas como influencias sobre el flujo en el canal y el flujo por tierra simulados en un modelo de inundación.

Fuente: Imagen reproducida con permiso de Fathom Global.



## Cuadro 4: Mejoras en la modelización topográfica y los datos de elevación

La modelización topográfica es una forma de procesar los datos de los estudios geográficos y es un componente fundamental de la modelización de los riesgos de inundación. Los modelos topográficos relevantes para la modelización de inundaciones incluyen los modelos digitales de elevación (MDE) y los modelos digitales del terreno (MDT). Los MDE suelen tener en cuenta los objetos de la superficie (por ejemplo, vegetación, edificios, etc.), mientras que los MDT proporcionan la verdadera elevación de la tierra desnuda. En ambos casos, la precisión vertical de los datos de elevación es fundamental.

Cuando se disponga de datos LiDAR, deberían utilizarse para elaborar los MDE, ya que ofrecen el mayor grado de precisión. Sin embargo, los datos LiDAR son muy caros de obtener y, cuando están disponibles, a menudo sólo lo están para pequeñas zonas de países desarrollados. Afortunadamente, cada vez se reconoce más el valor de los datos LiDAR y los costes de adquisición se están reduciendo (en algunos casos de forma similar al despliegue de equipos topográficos en zonas remotas como las islas del Pacífico). Las organizaciones internacionales, entre otras, están financiando más adquisiciones LiDAR en zonas de alto riesgo, incluidas las EMDE, pero la cobertura sigue siendo limitada.

Hasta hace poco, cuando no se disponía de LiDAR, la comunidad de modelización dependía en gran medida de los datos recogidos hace casi 20 años por la Misión Topográfica Shuttle Radar (SRTM, por sus siglas en inglés Shuttle Radar Topography Mission; Farr et al. 2007) para la creación de MDE globales. Los MDE desarrollados a partir de esta misión han mejorado enormemente desde su primera publicación gracias a los avances en el postprocesado, pero presentan numerosas limitaciones, como el fuerte ruido de los retornos de radar en zonas urbanas y con vegetación y una precisión vertical muy restringida debido a la instrumentación original, lo que ha obligado a realizar importantes comprobaciones de calidad de los datos, especialmente para la modelización de inundaciones debido a la necesidad de captar las influencias sobre el flujo de agua y la información informal sobre el control local de inundaciones. En consecuencia, cualquier análisis a escala de activos que dependiera de la precisión del SRTM estaba limitado, y la calidad de los datos del terreno frenó el progreso en el desarrollo de modelos de inundaciones para algunas regiones del mundo (Sampson et al. 2016).

La reciente publicación abierta del MDE GLO-30 de Copernicus, procedente de la misión conjunta DLR-Airbus TanDEM-X, ha cambiado por fin el status quo de los datos globales del terreno. Con la publicación abierta de GLO-30, la comunidad científica tiene acceso a una visión actualizada con una precisión vertical y horizontal muy superior a la de SRTM. Sin embargo, como TanDEM-X es un sistema basado en radar como SRTM, lamentablemente presenta limitaciones similares en zonas con vegetación y urbanas. La inexactitud de los datos de elevación en entornos urbanos preocupa especialmente a muchos modelizadores, ya que es aquí donde el peligro se cruza más con los bienes y las poblaciones.

Gracias a las técnicas de aprendizaje automático, a los nuevos conjuntos de datos de observación de la tierra y a la experiencia adquirida en el trabajo con SRTM, están al alcance de la mano los MDE de “tierra desnuda” mejorados basados en GLO-30 que intentan abordar las limitaciones inherentes. El primer MDE mejorado de este tipo publicado en la literatura académica es FABDEM (Hawker et al. 2022). FABDEM combina GLO-30 con otros conjuntos de datos utilizando un marco de aprendizaje automático entrenado con datos LiDAR de referencia. La versión inicial de FABDEM produjo reducciones significativas en los errores absolutos medios tanto en zonas urbanas como forestales en relación con GLO-30, y el MDE seguirá mejorando con el tiempo a medida que se incorporen nuevos datos y mejoras metodológicas. FABDEM es un ejemplo importante de una nueva generación de MDE que ofrece a los desarrolladores de modelos en EMDEs la oportunidad de mejorar significativamente la precisión del modelo, haciendo que los modelos sean más útiles en una gama más amplia de aplicaciones.

## 2.2 Requisitos y retos de los datos de exposición

Para estimar el impacto del peligro de inundación en términos de impacto humano o económico, los datos de exposición deben representar a la población o los bienes expuestos a la inundación, con una granularidad adecuada para el resultado requerido. Los conjuntos de datos de exposición describen: la distribución de la población o los diferentes tipos de bienes, por ejemplo, edificios, infraestructuras, tipo de cultivo, etc.; las características relativas a esos bienes (por ejemplo, material de construcción, tipo de estructura); y el coste de sustitución de los bienes o una medida de los ingresos en el caso de la protección de los medios de subsistencia. Obtener información precisa sobre la exposición es un reto, sin embargo, ciertas características de un conjunto de datos de exposición son particularmente útiles para estimar las pérdidas por inundaciones y, debido a la naturaleza localizada de las inundaciones, representar con precisión la ubicación de los activos es lo más crítico.

En cuanto a las características de los bienes, lo más importante es el material de construcción, el tipo de ocupación, el número de plantas, la presencia de un sótano, la elevación de la planta baja, el revestimiento del suelo/pared y el tipo de contenido. Una representación precisa de la elevación de la planta baja, ya que puede proporcionar un umbral por encima del cual se sufre la pérdida, así como la presencia de un sótano y la distribución del contenido entre las plantas pueden influir en gran medida en la pérdida. Más allá de la estimación exacta del nivel de daños, su conversión en una estimación de pérdidas depende del difícil proceso de estimar con exactitud los costes de sustitución de los edificios, que dependerán de si existe una política de sustitución similar o la llamada “reconstrucción mejorada”, es decir, la mejora de la calidad de los edificios destruidos. La información sobre los costes de sustitución debe estar bien documentada por los ingenieros locales.

Los datos de exposición más detallados pueden proporcionar características por huella de edificio, basándose en estudios sobre el terreno, o registrando estos detalles a nivel de dirección. En general, en los países en vías de desarrollo no es factible recopilar este nivel de datos en zonas extensas, por lo que se suelen utilizar datos agregados. Se suelen utilizar datos censales, de población mundial, huellas de edificios (por ejemplo, Global Building Footprints de Microsoft) y conjuntos de datos sobre asentamientos (por ejemplo, WorldPop) o bases de datos de libre acceso (por ejemplo, OpenStreetMap). En el caso de los seguros de cosechas, los regímenes suelen ser puramente paramétricos o basarse en los rendimientos comparados con años anteriores, evitando así la necesidad de intentar estimar los valores de las cosechas, que dependen de precios muy dinámicos.

También se pueden desarrollar conjuntos de datos de exposición agregados utilizando la observación de la tierra para delimitar zonas según el uso del suelo (por ejemplo, rural, urbano de baja densidad, urbano de alta densidad). Para cada tipo de uso del suelo se pueden muestrear la densidad y los tipos de edificios, y las distribuciones de las características de los edificios, las ocupaciones medias y los costes de sustitución se aplican a todas las celdas del mismo tipo de uso del suelo. Una fuente de datos sobre el uso del suelo es WorldCover de la ESA. Los datos de observación de la tierra se suelen utilizar en la elaboración de “máscaras de cultivo” para los seguros agrícolas, que identifican la extensión y la superficie de las tierras de cultivo, así como el tipo de cultivo, o para identificar las zonas de pastizales o silvicultura.

Los conjuntos de datos agregados son apropiados para su uso en la modelización del riesgo de inundación a escala nacional y regional, y pueden utilizarse para desarrollar productos de transferencia del riesgo, pero para captar la influencia de las variaciones locales en el peligro de inundación, los datos de exposición deben tener una resolución lo más alta posible y, preferiblemente, una resolución similar a la del peligro subyacente. Los datos agregados pueden basarse únicamente en información global, pero la calidad puede mejorar si se incluyen datos nacionales o subnacionales para garantizar que la información coincide con las expectativas y la experiencia locales, como se propone en los protocolos de modelización de la exposición publicados por el proyecto METEOR (ImageCat Inc. y METEOR Project Consortium, 2020).<sup>2</sup>

<sup>2</sup> El proyecto METEOR puede consultarse aquí: <https://meteor-project.org/data/>

## 2.3 Requisitos y retos del módulo de vulnerabilidad

La información sobre vulnerabilidad relaciona la intensidad del peligro (normalmente la profundidad de la inundación) con un nivel de daños y pérdidas (económicas o de otro tipo). En el caso de los edificios y las infraestructuras, la cuantía de los daños causados por una profundidad de inundación determinada variará en función de la velocidad a la que fluya el agua, la duración de la inundación, el tipo de edificio y dentro de un mismo tipo de edificio debido a la incertidumbre sobre cómo se verá afectado ese edificio, y por extensión difiere según el país debido a las diferentes características del parque de edificios (por ejemplo, de qué material está construido el edificio) y a la presencia y aplicación de códigos de construcción. Los modelos de catástrofes rara vez tienen en cuenta la velocidad o duración del agua debido a que las curvas de vulnerabilidad se definen casi exclusivamente en función de la profundidad de la inundación, ya que los siniestros y las encuestas de daños posteriores al suceso pueden captar más fácilmente esta métrica.

En muchos contextos de escasez de datos, los datos históricos sobre siniestros son muy limitados, los datos sobre siniestros no guardan correlación con el nivel de daños (es decir, cuando se efectúa un pago de socorro coherente basado en un único umbral de daños) y se carece de estudios exhaustivos de los daños posteriores al suceso con los que elaborar curvas de vulnerabilidad empíricas o analíticas. En su lugar, suelen utilizarse curvas generales o regionales. Estas incluyen el CCI (Huizinga, De Moel, y Szewczyk 2017), o las curvas de vulnerabilidad HAZUS de FEMA. Hay una incertidumbre significativa con la aplicación de tales curvas desarrolladas para las características de las inundaciones y los edificios en una región, a diferentes áreas dentro de la región u otra región por completo. Por ejemplo, una curva general de vulnerabilidad residencial puede haberse desarrollado para un parque de edificios dominado por edificios de mampostería de dos plantas, y no sería relevante para un país dominado por casas de madera de una sola planta. Del mismo modo, una curva puede haberse desarrollado sobre la base de inundaciones de flujo lento y larga duración, en cuyo caso puede no ser adecuada para lugares montañosos caracterizados por inundaciones de flujo rápido. Se está investigando cómo mejorar esta situación, mientras que el desarrollo de una nueva vulnerabilidad específica para cada país sigue estando por detrás de la demanda de modelos de riesgo.

En el caso de los seguros de cosechas, los vínculos entre las inundaciones y el rendimiento de las cosechas pueden derivarse de los datos históricos de rendimiento recopilados por los Departamentos de Agricultura, pero la creación de una relación detallada suele ser complicada por la falta de información precisa sobre la profundidad, duración y extensión de las inundaciones.

## 2.4 Requisitos y retos de la validación de modelos

La validación de un modelo de riesgo de catástrofe es fundamental para garantizar que es adecuado para apoyar las soluciones FSRD, así como para la comunicación tanto con el mercado de seguros como con el cliente. Sin embargo, la validación de un modelo en las EMDE suele ser especialmente complicada debido a la falta de datos históricos disponibles sobre amenazas y pérdidas. Cuando se dispone de datos fiables, los modelos de inundación suelen validarse comparando los parámetros simulados con los observados para ambos:

- Componentes individuales del modelo - esto puede hacerse para la amenaza (por ejemplo, comparaciones de datos modelados e históricos para precipitación/descarga/profundidad de inundación, etc.), exposición (por ejemplo, comparación de la distribución de la exposición para diferentes conjuntos de datos) y vulnerabilidad (por ejemplo, comparación de curvas de vulnerabilidad con datos de estudios de daños).
- Pérdidas globales modelizadas mediante la comparación de los impactos estimados (por ejemplo, población afectada, pérdidas económicas o de seguros) para sucesos históricos, Pérdidas Anuales Medias modelizadas y curvas de Probabilidad de Excedencia modelizadas con los equivalentes basados en datos históricos notificados. La validación de las estimaciones de pérdidas suele centrarse en sucesos de mayor magnitud y menor frecuencia, ya que suelen proporcionar una validación más precisa debido a que los sistemas de inundación anulan las incertidumbres inherentes al modelo.



Dicha validación requiere datos históricos detallados sobre el caudal del río, el nivel del agua y las precipitaciones durante un largo periodo de tiempo (varias décadas) procedentes de medidores que registren mediciones periódicas en el cauce del río y de observaciones de eventos, ya sean registros in situ de la profundidad o estimaciones de la extensión de la inundación derivadas de la observación de la tierra. Sin embargo, a menudo no se dispone de esos registros, se dispone de ellos para un número muy limitado de lugares de la zona que se va a modelizar o es necesario controlar los cambios en el uso del suelo, el clima o las defensas contra inundaciones a lo largo del periodo de tiempo registrado (por ejemplo, el impacto de la urbanización en el potencial de escorrentía). Esta falta de datos dificulta la estimación fiable de los fenómenos extremos, dando lugar a grandes incertidumbres en la modelización de los riesgos de inundación y de las inundaciones. Este problema suele ser más grave en los países de ingresos bajos y medios, donde el registro histórico de datos y sucesos puede ser muy corto o inexistente.

A menudo no se dispone de estimaciones del impacto de sucesos históricos con el nivel de precisión o granularidad necesario para validar el modelo general. La mejora de la validación de los modelos en estos contextos depende de la mejora gradual de los conjuntos de datos de pérdidas por sucesos (por ejemplo, EM-DAT<sup>3</sup> y DesInventar<sup>4</sup>) y de los registros detallados de los impactos de los sucesos en los informes posteriores a los sucesos (evaluación de las necesidades después del desastre (PDNA, por sus siglas en inglés Post-Disaster Needs Assessment), informes de respuesta de emergencia<sup>5,6</sup>), los datos de reclamaciones de seguros y la contabilidad transparente de daños y pérdidas. Incluso cuando se dispone de datos históricos de pérdidas, es probable que no representen el riesgo actual, debido a los cambios en el entorno construido y natural (incluida la distribución y las características de la exposición, el valor de los activos y la población) entre el momento de la pérdida observada y la actualidad. La tendencia de las pérdidas se aplica para tener en cuenta algunos de estos cambios, pero no puede tener en cuenta todos los cambios y ésta es una fuente común de diferencia entre las pérdidas modelizadas y las observadas.

3 EM-DAT. Base de datos internacional sobre catástrofes <https://www.emdat.be/>

4 UNDRR. DesInventar Sendai <https://www.desinventar.net/>

5 GFDRR. Evaluación de las necesidades tras las catástrofes <https://www.gfdr.org/en/post-disaster-needs-assessments>

6. GDACS. Sistema mundial de alerta y coordinación en caso de catástrofe



### 3. Aplicación de la observación de la tierra a la modelización de inundaciones

Los datos de observación de la tierra tienen un gran potencial para mejorar la modelización de las inundaciones. La mejora de la tecnología de satélites, que incluye un número, una resolución y un tipo de sensores cada vez mayores, así como un período histórico de datos cada vez más largo, está permitiendo que la observación de la tierra sea cada vez más útil para la evaluación y el seguimiento del riesgo de inundaciones.

La utilización de datos de observación de la tierra para mejorar los modelos de inundaciones es un campo en el que se ha avanzado y se seguirá avanzando mucho debido a las ventajas que presentan los datos de observación de la tierra frente a los modelos físicos, en particular para las soluciones paramétricas, ya que (i) observan las inundaciones, por lo que no es necesario separar la fuente de la inundación (es decir, pluvial frente a fluvial), (ii) el efecto de la infraestructura antropogénica se capta de forma inherente en la extensión de la inundación resultante y (iii) se evitan los errores que pueden introducirse utilizando conjuntos de datos auxiliares. Sin embargo, el uso de datos de observación de la tierra para la modelización de inundaciones y la activación de instrumentos de FSRD plantea varios retos:

- Los datos de observación de la tierra sólo están disponibles para un periodo histórico limitado que a menudo no es suficiente para desarrollar distribuciones de valores extremos.
- Las imágenes captadas por los satélites no coinciden con el pico de la inundación, lo que dificulta la definición precisa de la huella del fenómeno.
- Los satélites suelen captar una visión incompleta de las inundaciones, ya que la anchura de la franja (anchura de la imagen del satélite) no suele coincidir con la anchura de la zona inundada, que a menudo es mayor.
- La presencia de vegetación y/o edificios puede provocar dispersión, en la que la señal del radar se dispersa en muchas direcciones diferentes, lo que da lugar a una señal débil.
- La insuficiente precisión de los algoritmos de detección de agua utilizados para obtener la extensión de las inundaciones lleva a confusiones en las que superficies como el asfalto o las zonas quemadas se confunden con inundaciones. Sin embargo, los avances en el aprendizaje automático y la potencia de cálculo están permitiendo procesar muchos más datos históricos de observación de la tierra, lo que mejora los algoritmos de detección.
- Nubes que oscurecen una imagen (un problema particular de los satélites ópticos).
- El riesgo de base (cuadro 5) presente debido a la incoherencia de utilizar datos de observación de la tierra para activar un producto, pero no para desarrollar el índice original .
- La necesidad de calibrar los datos de observación de la tierra utilizando datos de aforo y estaciones meteorológicas que a menudo no están disponibles.

## Cuadro 5: Riesgo de base

El riesgo de base es la diferencia entre un índice y una cartera específica de pérdidas y se produce cuando la experiencia de pérdidas del cliente no coincide con el pago de un producto basado en un índice (por ejemplo, una póliza paramétrica). Este riesgo puede ser negativo (es decir, el asegurado no recibe un pago cuando las pérdidas reales deberían haber desencadenado un pago) o positivo (es decir, cuando el asegurado recibe un pago aunque las pérdidas reales sean inferiores al desencadenante) y suele ser mayor en el caso de las EMDE debido a las dificultades para validar un modelo.

Además del riesgo de base, hay que tener en cuenta los problemas de percepción asociados a un malentendido de lo que cubre una póliza (es decir, lo que se excluye del contrato de seguro). Esto es aplicable tanto a los seguros paramétricos como a los de indemnización.

Dadas las limitaciones asociadas con los datos de observación de la tierra, en particular las cortas series temporales históricas, es poco probable que los datos de la observación de la tierra sean de gran valor para desarrollar un perfil de riesgo completo que apoye el diseño de instrumentos de FSRD en las EMDE. En cambio, tienen un mayor potencial para el desarrollo de estructuras de transferencia de riesgos en periodos de retorno más bajos, donde los modelos de inundación se consideran más débiles y es más probable que 20-30 años de datos capturen eventos extremos relevantes. También es probable que sea más beneficioso en las zonas rurales donde las inundaciones son de duración relativamente larga (es decir, las inundaciones permanecen durante varios días) y están dominadas por los ríos. Es necesario seguir trabajando para comprender plenamente su valor y sus limitaciones para su uso en zonas urbanas y para los fenómenos de origen pluvial, dadas las limitaciones mencionadas en este informe. Cloud to Street demostró el potencial de aplicación de un enfoque basado en la observación de la tierra en su solución de alivio paramétrico de la deuda de los agricultores de Colombia (véase el caso práctico I).

A medida que aumente el registro histórico de datos de observación de la tierra y avance la modelización de inundaciones, los esfuerzos futuros podrán aprovechar los puntos fuertes de cada uno para evaluar el riesgo y estructurar los productos de transferencia del riesgo (es decir, evaluar un espectro más amplio de fenómenos por debajo del período de retorno de 1 en 20 años, que es el punto en el que suelen empezar los modelos). En la mayoría de los casos, para crear un índice de seguro contra inundaciones derivado de satélites y basado en las huellas de riesgo, se requiere una mayor duración de los eventos históricos, pero se ha probado un enfoque prometedor utilizando datos de satélite del espectrorradiómetro de imágenes de media resolución (MODIS, por sus siglas en inglés Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) a lo largo de las cuencas fluviales de Bangladesh y Argentina, donde la falta de datos de aforo y observación hace que la modelización física de las inundaciones sea muy incierta.

## Caso práctico I: La observación de la tierra se utiliza para desarrollar seguros paramétricos para pequeños y medianos agricultores en Colombia

El Banco Agrario de Colombia, en colaboración con Cardif Seguros Generales, comercializó un producto de seguro paramétrico desarrollado por Raincoat que ofrece protección a los pequeños y medianos agricultores de Colombia frente a los riesgos de exceso de precipitaciones, sequía e inundaciones (Banco Agrario 2022). Esta cobertura fue innovadora por su capacidad para ofrecer una cobertura frente a inundaciones en todo el territorio colombiano y por la ausencia de exclusiones por zona geográfica o naturaleza de la actividad agrícola subyacente, lo que permitió a los agricultores de todos los municipios del país acceder a la cobertura del seguro.

El componente de inundaciones de la cobertura se desarrolló con la plataforma de inteligencia de inundaciones Cloud to Street. Cloud to Street utiliza datos satelitales y ambientales para monitorear y mapear inundaciones históricas y en tiempo casi real (TCR). La cobertura paramétrica colombiana utilizó dos índices de inundación: uno basado en las inundaciones observadas y un segundo basado en las precipitaciones por satélite.

El índice de inundaciones observadas se elaboró utilizando la red neuronal convolucional de detección de agua de Cloud to Street y el espectrorradiómetro de imágenes de media resolución (MODIS, por sus siglas en inglés Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) de la NASA a bordo de los satélites Aqua y Terra. Para crear el índice se utilizaron todas las imágenes MODIS tomadas sobre Colombia desde 2002. A continuación, se utilizaron distribuciones de probabilidad para estimar la probabilidad de superación de eventos pasados utilizando los máximos anuales para el índice de inundación observado para cada municipio. Los umbrales se eligieron a partir de la distribución de probabilidad para lograr una pérdida esperada coherente con la tarificación de la póliza, y se comprobaron con el archivo de datos. Para mayor certeza, la cobertura de Colombia utilizó un disparador de precipitación secundario (calculado para cada cuenca hidrográfica) para minimizar los posibles eventos de riesgo de base negativa en los que el satélite MODIS puede no capturar adecuadamente las inundaciones. Los umbrales se calibraron para el índice de precipitación por separado, y éstos se utilizaron como un disparador, por lo que la superación de los parámetros establecidos por el índice MODIS o el índice de precipitación daría lugar a un pago.

Para garantizar una precisión suficiente en la tarificación y un bajo riesgo de base para activar los pagos, el rendimiento de cada índice y los umbrales se validaron con los datos de daños por inundaciones comunicados por la Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo Desastres (UNGRD) de Colombia. Este proceso garantizó que los dos índices utilizados recogían todos los eventos históricos importantes.

Hoy en día, todo el país está siendo monitoreado diariamente para determinar en tiempo casi real si los umbrales del índice se han superado en cualquier municipio. Los métodos de este producto, que se basan en el creciente archivo de datos satelitales tanto para la creación de índices como para el seguimiento, han demostrado ser novedosos entre las coberturas paramétricas de inundaciones. Su éxito en Colombia ilustra aún más la capacidad de estructurar coberturas paramétricas de inundaciones con fines tanto privados como humanitarios en todo el mundo utilizando observaciones terrestres por satélite.

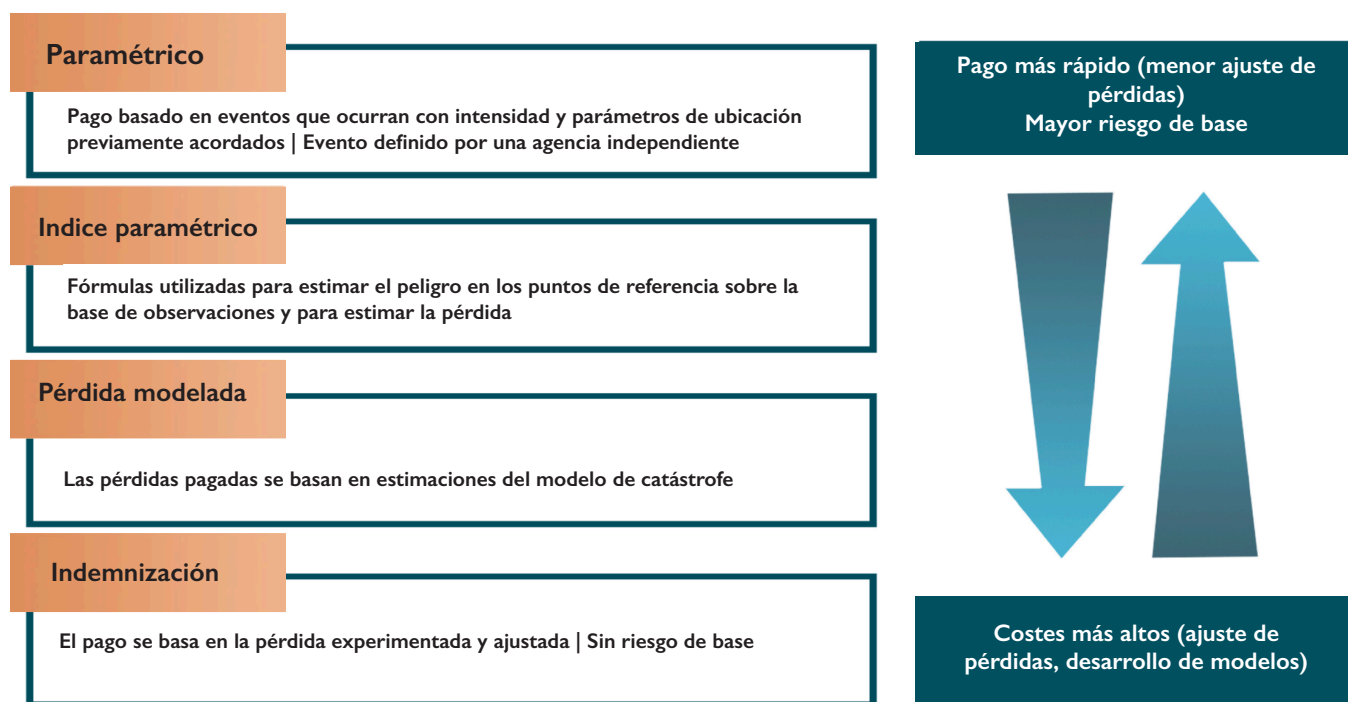
## 4. Requisitos de transferencia de riesgos de la modelización de inundaciones

Los países de renta baja suelen carecer de protección financiera contra el impacto de las catástrofes, tanto a nivel doméstico como nacional. Esto lleva a los gobiernos a depender de medidas de afrontamiento como las reasignaciones presupuestarias y la ayuda de los donantes para financiar la respuesta y la recuperación, que son menos eficientes debido al tiempo necesario para obtener préstamos y al coste adicional de depender de estas medidas para sucesos de moderados a grandes.

Las soluciones de FSRD preestablecidas (“ex ante”) pueden proporcionar una mayor resiliencia financiera, aumentando la capacidad de los gobiernos nacionales y locales, los propietarios de viviendas, las empresas y las poblaciones de bajos ingresos para responder y recuperarse de los desastres con mayor rapidez y eficacia, al tiempo que incentivan una mayor resiliencia física y social. Las soluciones ex ante también pueden ofrecerse a un coste inferior al de los préstamos ex post, en los que el beneficiario suele disponer de menos tiempo y poder de negociación tras la catástrofe. Los seguros son una de las soluciones ex ante de la FSRD que proporcionan protección financiera contra los riesgos naturales.

**Figura 7: Resumen de productos de seguros.**

Fuente: Adaptado de Willis Towers Watson (2017) y IDF (2017).



Existe una gama de productos de seguro que pueden utilizarse para transferir el riesgo (véase la figura 7). Las estructuras de indemnización proporcionan al cliente la mayor confianza en que cualquier desembolso será equivalente a los daños asegurados. Sin embargo, suelen ser más lentas de pagar que las soluciones paramétricas, requieren sistemas sólidos de gestión de siniestros y sigue siendo necesario utilizar una solución de modelización para estimar y tarificar el riesgo. En el caso de las soluciones paramétricas, la complejidad del producto debe ajustarse a los datos disponibles y a la modelización del riesgo; cuando predominan las inundaciones fluviales y la exposición está ampliamente distribuida, un producto paramétrico basado en índices presenta ventajas por su transparencia, su sencillo mecanismo de activación y

la ausencia de datos detallados sobre la exposición. Un enfoque de pérdidas modelizadas puede incorporar múltiples entradas de datos (datos del modelo, estaciones de medición, datos de aforo, datos de observación de la tierra) para calcular una estimación coherente del riesgo de inundación y el mecanismo para activar el pago. Sin embargo, esto requiere buenos datos de exposición y altos niveles de calibración y validación del modelo. Si no se dispone de buenos datos, un enfoque alternativo para desencadenar un pago consiste en utilizar métricas más sencillas y ampliamente disponibles, como las personas afectadas en lugar de los daños económicos.

Los productos paramétricos son de especial interés para los gobiernos debido a su rapidez de pago, transparencia y costes relativamente más bajos en comparación con muchos sistemas basados en indemnizaciones que pueden requerir largos procesos de evaluación de siniestros. Existen varias soluciones paramétricas soberanas para ciclones tropicales, terremotos y exceso de precipitaciones. Sin embargo, se han establecido muy pocas soluciones paramétricas soberanas para las inundaciones, debido a la naturaleza más compleja del seguimiento de los eventos de inundación y la activación del pago en tiempo (casi) real, y la falta de datos en los países de bajos y medianos ingresos con los que desarrollar y validar modelos de inundación para apoyar el diseño paramétrico.

En determinadas circunstancias, es posible utilizar un índice de exceso de precipitaciones como sustituto de las inundaciones. Los seguros de exceso de precipitaciones ofrecen protección contra las pérdidas asociadas a precipitaciones intensas de corta duración, y han sido ofrecidos a sus países miembros por la Capacidad de Riesgo Africana Limitada (ARC, por sus siglas en inglés African Risk Capacity Limited) y el fondo de seguros contra riesgos de catástrofe en el Caribe (CCRIF, por sus siglas en inglés Caribbean Catastrophe Risk Insurance Facility). Los pagos asociados a estos productos se activan mediante una estimación de la intensidad de las precipitaciones, utilizando datos pluviométricos obtenidos por satélite y datos de estaciones meteorológicas. Los registros históricos de precipitaciones y la información sobre los activos (distribución y susceptibilidad a los daños por inundaciones) se utilizan para desarrollar un índice paramétrico que define la probabilidad de la intensidad de las precipitaciones y la asocia con la pérdida financiera. El cedente (la entidad que se beneficia del seguro) y el asegurador identifican un umbral de pérdida y, basándose en el índice, se identifica el umbral de precipitaciones correspondiente. Cuando los datos de precipitaciones muestran que se supera este umbral, el producto se activa y se requiere el pago del seguro.

Para determinar un índice adecuado, es necesario que la cantidad de precipitaciones durante un periodo de tiempo esté fuertemente correlacionada con las pérdidas económicas. En entornos hidrológicos sencillos, ésta puede ser una hipótesis adecuada. Sin embargo, este enfoque no es factible en países o zonas con una red hidrológica compleja, es decir, donde las precipitaciones en un lugar no pueden relacionarse directamente con el alcance o la gravedad de las inundaciones en esa u otras zonas. Esto se debe a que la relación entre el exceso de precipitaciones y el riesgo fluvial se rompe a medida que la dinámica de las cuencas cambia de escala y de clima - los factores que afectan a esto incluirán la topografía, el tamaño de la cuenca y los entornos tropicales y subtropicales que experimentan una mayor evapotranspiración. Para determinar el riesgo en estos lugares, un índice directo es menos adecuado y es necesario utilizar un modelo de inundaciones.

La colocación de un instrumento de transferencia del riesgo exige que el patrocinador/cedente esté convencido de que la estructura del instrumento responde a sus necesidades y de que su precio es correcto en relación con el mecanismo de activación. Otro requisito es que el modelo tenga la suficiente granularidad y precisión para ser aceptado por el mercado de seguros, ya que consideran que el riesgo estimado por el modelo refleja, tan bien como es posible, el verdadero riesgo. Sin ello, es posible que las aseguradoras no estén dispuestas a suscribir el riesgo (es decir, que el producto no se “coloque”) o que no lo ofrezcan a un coste (“prima”) asequible para el cedente.

Todas las soluciones de seguros de indemnización y la mayoría de los productos derivados exigen que el modelo de inundación proporcione una representación realista del riesgo. El resultado del modelo es uno de los varios datos que una aseguradora tiene en cuenta a la hora de determinar si acepta el riesgo y de fijar la prima o el “precio” asociado, que a menudo se carga para tener en cuenta la incertidumbre. A menudo, la aceptación de una solución por parte del sector de los seguros viene determinada por su confianza en la organización que ha desarrollado el modelo, con criterios adicionales (p. ej, El modelo debe cumplir ciertos criterios, como haber sido elaborado con métodos científicamente defendibles y datos de alta calidad; haber sido creado en un formato estándar del sector; ser capaz de cuantificar tanto el riesgo como la incertidumbre; haber sido totalmente calibrado y validado con respecto a la experiencia histórica, teniendo en cuenta las tendencias afectadas por el clima que puedan requerir un ajuste de la experiencia histórica, y

estar razonablemente actualizado (es decir, que el modelo incorpore avances científicos recientes y datos históricos actualizados). Los modelos de inundaciones también necesitan estimar la incertidumbre en cualquier resultado de pérdida para permitir el diseño y la fijación de precios de los productos de transferencia de riesgo y los instrumentos pueden ser elegidos para reducir la cantidad de incertidumbre en la solución final (por ejemplo, la población impactada no requiere complicados, y a menudo no disponibles, datos de vulnerabilidad para ser incorporados en el modelo).

Ciertas soluciones paramétricas de seguros (por ejemplo, las que utilizan activadores de pérdidas modelizados) dan lugar a requisitos adicionales del modelo de inundación porque el proceso de activación se basa en el uso del modelo para estimar una pérdida; la solución se activa si esa pérdida modelizada supera un umbral acordado previamente. Sea cual sea el mecanismo de activación, el proceso de supervisión y evaluación debe ser coherente con la modelización del riesgo utilizada para establecer los umbrales de activación, ya que cualquier incoherencia aumenta el riesgo de que la pérdida sostenida sea superior o inferior a la pérdida estimada.





## 5. Control del riesgo de inundación para activar productos FSRD

La vigilancia de inundaciones describe la evaluación en tiempo real de las precipitaciones o las condiciones del caudal para informar de las previsiones de posibles inundaciones, activar alertas de inundación o activar instrumentos de FSRD (los productos paramétricos se activan por la superación de un parámetro cuantificable acordado previamente). Esto contrasta con la modelización de inundaciones, que suele realizarse independientemente de que se produzca un suceso para evaluar el riesgo.

El seguimiento de las inundaciones puede incluir técnicas in situ (lecturas automáticas o manuales de pluviómetros y caudalímetros) y/o de teledetección. En términos de FSRD y GRD, la vigilancia es un elemento vital para activar la financiación ex ante del riesgo y la acción anticipatoria (cuadro 6). Los datos sobre la extensión de las inundaciones obtenidos por satélite, los datos de los aforos fluviales, las herramientas de previsión y/o los modelos de inundación pueden utilizarse para supervisar las inundaciones en una zona geográfica y/o determinar si un suceso ha activado un umbral paramétrico acordado previamente para que se realice un desembolso.

### Cuadro 6: Previsión del riesgo de inundaciones

Los modelos de riesgo de inundación y las herramientas para supervisar si las inundaciones han desencadenado una política paramétrica pueden servir de apoyo a algo más que a las soluciones FSRD, ya que también pueden utilizarse para respaldar la acción anticipatoria con el fin de proporcionar a los hogares que se prevé que experimenten el impacto de sucesos extremos transferencias de efectivo eficaces antes de que se produzca un suceso.

La capacidad de previsión de inundaciones es importante para informar a los usuarios de las condiciones meteorológicas peligrosas que se avecinan y del impacto potencial que pueden tener en los instrumentos de financiación pertinentes. Las herramientas de previsión de inundaciones, como Flood Foresight de JBA, utilizan los últimos datos de previsión de precipitaciones (por ejemplo, este enfoque permite que el modelo emita pronósticos probabilísticos diarios de la extensión y profundidad de las inundaciones con un plazo de aproximadamente 10 días. La misma herramienta de control también puede utilizar datos observados del caudal de los ríos medidos junto con datos reales de precipitación para producir extensiones y profundidades de inundación estimadas, pero éstas tendrán un plazo de entrega más corto.

### 5.1 Tipos de datos y condiciones de control

El tipo de producto paramétrico (por ejemplo, pérdida paramétrica pura o modelizada) determinará la granularidad y el tipo de datos necesarios para supervisar las condiciones y activar los pagos. Por ejemplo, un producto puramente paramétrico podría diseñarse para activarse únicamente en función de los niveles de agua de los principales ríos medidos con datos de aforo, o de la cantidad de precipitación caída en uno o más pluviómetros. En el diseño del producto pueden seguir siendo necesarios conjuntos de datos sencillos sobre exposición y vulnerabilidad, para comprender cómo se relaciona el peligro físico con los impactos potenciales y estimar el riesgo base, pero a menudo puede tratarse de conjuntos de datos más sencillos que los necesarios para otros tipos de soluciones FSRD. Por ejemplo, un modelo de activación de pérdidas requiere no sólo datos de observación, sino también que el mismo modelo de riesgo y los datos de exposición y vulnerabilidad utilizados en el diseño de la solución se vuelvan a analizar con datos que representen el evento actual para estimar la pérdida y confirmar si supera el umbral de activación.

La selección de un mecanismo de activación debe tener en cuenta la fiabilidad del sistema de vigilancia (por ejemplo, si será operativo cuando sea necesario) y la exactitud de sus mediciones. La transparencia del proceso de medición también es crucial para garantizar la objetividad y la independencia del proceso de activación, es decir, si existe un riesgo de riesgo moral, como una información sesgada para influir en la activación de un producto, y si los valores medidos pueden corroborarse de forma independiente.

## 5.2 Control de la extensión de las inundaciones

Un enfoque común para monitorear la extensión de la inundación es utilizar datos de precipitación e inundación casi en tiempo real y/o pronosticados desde satélites, estaciones de medición y medidores fluviales mantenidos por una agencia independiente, ya sea directamente como disparador o como entrada al modelo de inundación para simular condiciones de flujo de corriente e inundación casi en tiempo real. Estos modelos pueden ejecutarse continuamente a medida que se reciben nuevos datos para garantizar el seguimiento de la crecida lo más cerca posible del tiempo real y prever posibles inundaciones (véase el cuadro 6). Un reto con los datos de entrada es que ciertos conjuntos de datos preliminares de precipitación (por ejemplo, la Misión de Medición de la Precipitación Global) pueden ser muy diferentes de los conjuntos de datos finales confirmados, lo que debe tenerse en cuenta al principio de finalizar el proceso del agente de cálculo.

Las innovaciones tecnológicas están haciendo que el proceso de control de la extensión de las inundaciones y, por tanto, de activación de la transferencia de riesgos sea más sencillo.

productos más precisos, con dos innovaciones notables:

- Los datos de observación de la tierra, posiblemente en combinación con datos adicionales de terceros (por ejemplo, de medios sociales o registros digitales de datos de sensores registrados manualmente en la actualidad), pueden utilizarse para identificar la inundación durante y después de la inundación. Este enfoque basado en la observación de la tierra se utilizó para activar el pago de indemnizaciones en el ensayo realizado en Bangladesh y Argentina por Tellman et al. (2022).
- Satélites globales multisensor que proporcionen datos casi en tiempo real y/o sensores inteligentes (cuadro 7) situados en lugares críticos o en bienes importantes para medir directamente la profundidad de la inundación en los lugares deseados.

### Cuadro 7: Flood Flash

Flood Flash es una empresa innovadora que se ha introducido recientemente en el mercado de los seguros. El producto de la empresa se basa en las ventajas de la cobertura paramétrica para ayudar a las empresas a recuperarse de las inundaciones y utiliza un sensor para determinar la inundación y activar el pago de una póliza de seguro paramétrico.

La póliza de seguro funciona acordando un pago fijo cuando se produce una inundación de cierta profundidad. La prevalencia de la inundación se mide mediante el sensor conectado al móvil de la empresa, que se instala en la propiedad y registra la profundidad del agua con un alto nivel de precisión. Si el sensor registra una profundidad de inundación superior al umbral de activación acordado, alerta automáticamente a Flood Flash y se inicia el proceso de reclamación, en el que Flood Flash verifica la reclamación y abona el importe acordado.

Flood Flash paga la mayoría de las reclamaciones en 48 horas, reduciendo enormemente el tiempo desde la inundación hasta el pago experimentado en las soluciones de indemnización y paramétricas tradicionales.

## Caso práctico 2: Producto contra inundaciones de la aseguradora SEADRIF

SEADRIF Insurance Company es una compañía de seguros autorizada, propiedad al 100 por cien de sus países miembros. Con el apoyo financiero de los socios para el desarrollo, la empresa puede ofrecer productos de financiación y seguros contra riesgos de catástrofe a los países participantes, con el potencial de convertirse en un consorcio regional de riesgos de catástrofe. El primer producto de seguro contra riesgos catastróficos de SEADRIF proporciona a la RDP Lao cobertura contra el riesgo de inundaciones. El producto de seguro combina enfoques innovadores de modelización para apoyar la colocación de un producto de seguro paramétrico soberano con Deltares, CIMA, la Agencia Espacial de la UE, el Centro Europeo de Previsiones Meteorológicas a Medio Plazo y JBA, todos contribuyendo al producto final.

El modelo estocástico, que incluye inundaciones fluviales, pluviales, mareales y costeras, se desarrolló para que tuviera las mismas características que las series temporales históricas simuladas y se comparó con los sucesos históricos para garantizar una representación cercana. El modelo se utilizó para desarrollar un perfil de riesgo para la RDP Lao y se interconectó con el mecanismo de activación escalonada basado en la población afectada, en un esfuerzo por limitar el riesgo base.

Para controlar el riesgo de inundación y evaluar si una inundación había activado la política se desarrolló una herramienta de control de inundaciones. El enfoque utilizado se basa en disponer de una base de datos de escenarios de inundación presimulados que corresponden a mapas de peligro de periodo de retorno de la profundidad del agua basados en el modelo estocástico, y durante un evento se utiliza la información disponible de datos de aforo, simulaciones y datos de observación de la tierra para seleccionar el mapa más representativo de cada subzona y cada tipo de inundación. Una vez seleccionado un mosaico de mapas, se superpone a una cuadrícula de densidad de población para comprender el impacto total en términos de número de personas afectadas.

Dos innovaciones clave en el diseño de este producto fueron:

1. La inclusión de datos de observación por satélite durante un suceso para complementar los resultados del modelo estocástico y los datos representativos de los medidores. La extensión de las inundaciones se obtiene a partir de los datos de Sentinel-1 y se compara píxel por píxel con la huella de inundación de los mapas de peligrosidad, utilizándose un índice de similitud para complementar los mapas de peligrosidad con los datos de observación de la tierra. Aunque la inclusión de datos de observación de la tierra aumenta el riesgo de que se produzcan indemnizaciones por sucesos que no se habrían producido basándose únicamente en los resultados de los modelos, las reaseguradoras consideran que se trata de una innovación beneficiosa y que se espera que se siga utilizando en el futuro..
2. La herramienta de vigilancia de las inundaciones desarrollada por CIMA, Deltares, LIST y Fadeout Software, que alberga el analizador en tiempo casi real y la interfaz web. La herramienta identifica a la población afectada, que se utiliza para evaluar si se superan los umbrales de activación de las pólizas de seguro y hay que efectuar pagos. El analizador en tiempo casi real genera una estimación del número de personas afectadas a partir de datos de entrada procedentes de aforos in situ, datos de satélite y previsiones de inundaciones de modelos hidrológicos/hidráulicos. El acceso a esta herramienta proporcionó a las reaseguradoras la confianza que necesitaban para supervisar las inundaciones y gestionar los siniestros en caso de que se superaran los umbrales.

La colocación del producto requirió paciencia, ya que aunque las reaseguradoras estaban muy interesadas en participar, tenían varias preguntas sobre las implicaciones técnicas y prácticas, lo que llevó a una importante revisión por pares del concepto y del producto, a discusiones y deliberaciones para entender el producto y a la estimación de la incertidumbre asociada. Gracias a estos debates, SEADRIF Insurance Company consiguió que varias reaseguradoras quedaran satisfechas con el diseño del producto y la metodología de modelización y participaran en la colocación del reaseguro.



## 6. Conciliación de los requisitos de transferencia de riesgos con la modelización de inundaciones: Enfoques para la modelización de soluciones de transferencia de riesgos en contextos de escasez de datos

Para los países en desarrollo, el riesgo de inundaciones suele ser el peligro natural más frecuente, ya que aproximadamente el 90 por ciento de la población mundial expuesta a inundaciones vive en países de ingresos bajos y medios, y muchas de estas personas se enfrentan además a una pobreza extrema. La posibilidad de que las inundaciones causen daños es mayor en los países en desarrollo debido a la falta de sistemas de infraestructuras -incluidos los de drenaje y protección contra inundaciones- y a la construcción a menudo no planificada. Los impactos sólo van a ser más frecuentes y graves debido al cambio climático y al continuo crecimiento de la exposición al riesgo. Esto ha suscitado un creciente interés por el desarrollo de soluciones de transferencia de riesgos para proteger financieramente a propietarios de viviendas, empresas y gobiernos. Se ha desarrollado una amplia gama de modelos y enfoques analíticos para apoyar las soluciones de transferencia de riesgos. Sin embargo, en algunos casos ha sido difícil colocar un instrumento financiero en el mercado internacional de seguros o la prima ha sido elevada debido a que los enfoques de modelización del riesgo utilizados no han sido aceptados por el mercado.

El éxito de las soluciones de transferencia del riesgo de inundación garantiza que el instrumento se coloque con una prima relacionada con el riesgo y un mecanismo de activación sólido, al tiempo que se minimiza el riesgo de base para el patrocinador y las aseguradoras. A continuación, se exponen las consideraciones clave para una colocación satisfactoria, bajo los temas de “Modelización del riesgo”, “Estructura del producto”, “Supervisión de eventos y activación de pagos” y “Comunicación”.

### 6.1 Modelización del riesgo

Los dos requisitos fundamentales de un modelo de riesgo de inundación son:

- Ser capaz de cuantificar el riesgo y la incertidumbre utilizando metodologías científicamente defendibles.
- Tener todos sus componentes y las pérdidas globales calibradas y validadas utilizando los mejores datos disponibles.

Por ejemplo, cómo se comparan las estimaciones de pérdidas y la frecuencia e intensidad de las amenazas con los registros históricos, y en qué medida reflejan la realidad los valores de los activos, los atributos y la vulnerabilidad.

Además, para colocar un instrumento de transferencia de riesgos en el mercado, el modelo debe ser aceptado por el sector asegurador.

Para ello, el modelo debe ser:

- Construido utilizando un marco estándar de modelos de catástrofes de la industria aseguradora.
- Suficientemente granular para determinar las diferencias en el impacto de las inundaciones en zonas geográficas pequeñas.

- Se actualiza periódicamente para reflejar los sucesos significativos recientes en su conjunto de sucesos, las actualizaciones en los enfoques de modelización de inundaciones y para reflejar las últimas condiciones fluviales, medioambientales y climáticas.
- En términos más generales, cuando se utilizan modelos de riesgo de inundación para estimar el riesgo de inundación en condiciones climáticas futuras, los usuarios deben tratar de entender el enfoque adoptado para ajustar los conjuntos de eventos y estar seguros de que las incertidumbres en las estimaciones de riesgo proyectadas son claras y están bien comunicadas.

## 6.2 Estructura del producto

A la hora de diseñar un instrumento de transferencia de riesgos, hay que tener en cuenta:

- Las estimaciones de pérdidas modelizadas, y el beneficio de una solución de seguros en comparación con otras opciones de instrumentos de FSRD (por ejemplo, financiación contingente).
- Si es necesario incorporar una solución de seguros a un planteamiento más amplio de estratificación de riesgos, y las ventajas de los planteamientos paramétricos, de indemnización y de modelización de pérdidas caso por caso.
  - » La elección de la solución puede verse influida por el tipo de inundación, los datos disponibles y la finalidad y los beneficiarios previstos.

Cuando se trata de decisiones más detalladas, como el importe de la cobertura, las franquicias, los puntos de embargo y agotamiento, y si el pago es lineal o escalonado, es necesario encontrar un equilibrio entre las necesidades del cliente y el perfil de riesgo. Por ejemplo:

- Cuando el nivel de riesgo difiere significativamente en la zona objetivo, el producto debe tener en cuenta estas variaciones.
- Las estructuras de pago de una póliza paramétrica deben tener en cuenta la posibilidad de que se produzcan aumentos significativos de las pérdidas por un pequeño cambio en el periodo de retorno, posiblemente utilizando una estructura de pago escalonada o gradualmente creciente, que también puede ayudar a gestionar la incertidumbre.
- Las franquicias (para los productos de indemnización) y los puntos de fijación y agotamiento (para los productos paramétricos) deben fijarse en función del importe de la cobertura requerida, del nivel de protección financiera ya existente y de si en la región predominan los sucesos de alta frecuencia y baja gravedad, o viceversa.

## 6.3 Seguimiento de eventos y activación de pagos

En el caso de los productos paramétricos, se necesita un enfoque de supervisión adecuado para determinar, de forma rápida e imparcial, si un evento ha alcanzado los umbrales acordados para activar el pago del producto de transferencia de riesgo:

- Combinación de modelos, datos de galibo y datos de observación de la tierra para:
  - » Redundancia de las fuentes de datos y validación cruzada de las características de los sucesos.
  - » Permitir la activación a distancia en el momento oportuno (no depender únicamente de la comprobación manual de los indicadores, lo que introduce un riesgo moral).

- » Minimizar las limitaciones de los datos de observación de la tierra, como las lagunas en la cobertura debidas a la tasa de sobrepaso y a la nubosidad.
- Minimizar el riesgo de base a niveles aceptables tanto para el cliente como para la aseguradora.
  - » El sector de los seguros considera que los datos de observación de la tierra son una de las innovaciones más prometedoras para afrontar el reto de determinar con precisión la extensión y profundidad de las inundaciones. Aunque los datos de observación de la tierra suelen ser precisos a la hora de activar soluciones paramétricas, a menudo no se utilizan directamente para determinar el perfil de riesgo, lo que introduce imprecisiones entre los enfoques de modelización y vigilancia.
- Hacer que una o varias agencias independientes bien establecidas actúen como Agente de Cálculo para informar públicamente sobre la ocurrencia de eventos y determinar si debe activarse un pago.

## 6.4 Comunicación

Para minimizar la desconexión que puede producirse entre el desarrollo de un modelo y la colocación de un producto en el mercado, es necesario que exista un alto nivel de comunicación y colaboración entre todas las partes implicadas en una transacción, incluidas:

- Lograr un equilibrio entre los aspectos técnicos del modelo y el producto para cubrir adecuadamente las riesgos, y la capacidad de un cliente para comprender los procesos y limitaciones, y el potencial de pago.

Una buena comunicación y transparencia en un enfoque por fases puede implicar a las partes interesadas en una fase temprana del proceso y aportar información local importante al diseño del modelo, así como fomentar la comprensión de:

- Los datos que se utilizan y los que no (por ejemplo, los datos locales pueden no utilizarse debido al riesgo moral o a la no homogeneidad de las series temporales históricas).
- Por qué estos datos pueden dar resultados diferentes a sus expectativas basadas en la experiencia o la comprensión del producto.

## 7. Resumen

Este informe resume el estado del arte de la estimación de pérdidas por inundaciones para la financiación y el seguro de riesgo de catástrofes. Sitúa la FSRD en el contexto más amplio de la gestión del riesgo de catástrofes, para gestionar los riesgos residuales tras el efecto de las estrategias de GRI. Al presentar una visión general de la modelización de catástrofes por inundaciones, demostramos la complejidad de estos modelos y sus requisitos en materia de datos. Sin embargo, como muestra el informe, la calidad de la modelización no es el único componente que determina el éxito de un producto FSRD de inundación en el mercado, ya que la transparencia, la comunicación y la confianza en el producto (que incluye la confianza en la modelización) son factores clave.

Al establecer los requisitos del mercado internacional de (re)seguros para utilizar un modelo de inundaciones con confianza, este informe señala las áreas clave en el diseño de proyectos de modelización del riesgo de inundaciones y de FSRD de inundaciones para contextos de escasez de datos. Los requisitos clave incluyen el uso de un marco de modelo probabilístico de catástrofe, la capacidad del modelo para representar el riesgo real lo mejor posible, lo que se demuestra a través de la validación de todo el modelo, y la claridad en los supuestos y limitaciones, en particular cuando se aplican datos globales y en la aplicación de curvas de vulnerabilidad de otras regiones. En el diseño de soluciones paramétricas, la disponibilidad de datos y sistemas para el seguimiento independiente de los eventos y la activación de los pagos es crucial, al igual que el diseño de una estructura que satisfaga las necesidades del cliente y proporcione un uso eficiente del capital. Independientemente de la calidad del trabajo técnico de diseño, la comunicación eficaz con el cliente es vital para garantizar la comprensión de las ventajas, los procesos y las limitaciones del producto.

La orientación de este informe se han elaborado a partir de consultas con profesionales de la industria aseguradora y del sector del desarrollo, incluidos expertos en modelización de peligros y riesgos de inundación, suscriptores y corredores, y especialistas en observación de la tierra, que pudieron comentar los procesos más avanzados, los principales retos y las innovaciones para superar dichos retos. La guía se debería tener en cuenta por aquellos que encargan modelos de inundaciones con fines FSRD, para desarrollar una mayor comprensión de las necesidades técnicas y no técnicas de tales proyectos, así como por aquellos que trabajan en la modelización basada en el desencadenamiento en sectores adyacentes (por ejemplo, cláusulas de deuda resilientes al clima).

Como próximo paso, el Banco Mundial y el Foro de Desarrollo de Seguros tratarán de determinar cómo pueden aplicarse las recomendaciones contenidas en este informe a contextos reales, entre otras cosas mediante una serie de casos prácticos.



## Referencias

- Alfieri, Lorenzo, Luc Feyen, Francesco Dottori y Alessandra Bianchi. 2015. "Ensemble Flood Risk Assessment in Europe under High End Climate Scenarios". *Global Environmental Change* 35 (noviembre): 199-212. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2015.09.004>.
- Banco Agrario de Colombia. 2022. "Pequeños y Medianos Productores Cuentan Ahora Con El Seguro Paramétrico Del Banco Agrario". 2022. <https://www.bancoagrario.gov.co/noticias/pequenos-y-medianos-productores-cuentan-ahora-con-el-seguro-parametrico-del-banco-agrario>.
- EM-DAT. s.f. "EM-DAT | The International Disasters Database". Consultado en 2022. <https://www.emdat.be/>.
- Farr, Tom G., Paul A. Rosen, Edward Caro, Robert Crippen, Riley Duren, Scott Hensley, Michael Kobrick, et al. 2007. "The Shuttle Radar Topography Mission". *Reviews of Geophysics* 45 (2): RG2004. <https://doi.org/10.1029/2005RG000183>.
- Foote, Matthew, John Hillier, Kirsten Mitchell-Wallace y Matthew Jones. 2017. *Gestión y modelización de riesgos de catástrofes naturales: A Practitioner's Guide*. 1.ª ed. Wiley. <https://doi.org/10.1002/9781118906057>.
- Funk, C.C., P.J. Peterson, M. F. Landsfeld, D. H. Pedreros, J. P. Verdin, J. D. Rowland, B. E. Romero, G. J. Husak, J. C. Michaelsen, and A. P. Verdin. 2014. "Una serie temporal de precipitaciones cuasiglobal para la vigilancia de la sequía". *Data Series*. Datos del Servicio Geológico de EE.UU. Serie 832. <https://pubs.usgs.gov/ds/832/>.
- GDACS. s.f. "GDACS - Sistema Mundial de Alerta y Coordinación de Desastres". Consultado en 2022. <https://www.gdacs.org/Alerts/default.aspx>.
- GFDRR, 2014. "Understanding Risk in an Evolving World - Emerging Best Practices in Natural Disaster Risk Assessment". Washington, DC: Banco Mundial. <https://www.gfdr.org/en/publication/understanding-risk-evolving-world-emerging-best-practices-natural-disaster-risk>
- GFDRR, 2016: "The Making of a Riskier Future: How Our Decisions are Shaping Future Disaster Risk". Washington, DC: World Banco. <https://www.gfdr.org/en/publication/making-riskier-future-how-our-decisions-are-shaping-future-disaster-risk>
- GFDRR. s.f. "Post Disaster Needs Assessments". Consultado en 2022. <https://www.gfdr.org/en/post-disaster-needs-assessments>.
- Hawker, Laurence, Peter Uhe, Luntadila Paulo, Jeison Sosa, James Savage, Christopher Sampson y Jeffrey Neal. 2022. "A 30 m Global Map of Elevation with Forests and Buildings Removed". *Environmental Research Letters* 17 (2): 024016. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ac4d4f>.
- Huizinga, J, H De Moel, y W Szewczyk. 2016. *Funciones globales de profundidad y daños por inundaciones: Metodología y base de datos con directrices*. Luxemburgo: Oficina de Publicaciones de la Unión Europea. <https://data.europa.eu/doi/10.2760/16510>.
- ICPAC. s.f. "Centro de Predicción Climática y Aplicaciones de la IGAD". ICPAC. Consultado en 2022. <https://www.icpac.net/data-center/>.
- ImageCat Inc. y Consorcio del Proyecto METEOR. 2020. "Modelización de la exposición a través de rutinas de observación de la Tierra (METEOR)". 2020. <https://meteor-project.org/data/>.
- Foro de Desarrollo de Seguros. 2020. "The Development Impact of Risk Analytics". <https://www.insdevforum.org/knowledge/idf-reports-publications/development-impact-of-risk-analytics/>.
- Iniciativa Internacional sobre el Clima. 2020. "Oasis Platform for Climate and Catastrophe Risk Assessment Asia". 2020. <https://www.international-climate-initiative.com/en/project/oasis-platform-for-climate-and-catastrophe-risk-assessment-asia-18-ii-165-asia-a-climate-and-catastrophe-risk-assessment/>.
- Jovanovic, Dusan, Simone Gelsinari, Louise Bruce, Matthew Hipsey, Ian Teakle, Matthew Barnes, Rhys Coleman, Ana Deletic y David T. McCarthy. 2019. "Modelización de estuarios salinos urbanos poco profundos y estrechos: Evaluación del rendimiento y la sensibilidad del modelo para optimizar la recopilación de datos de entrada." *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 217 (febrero): 9-27. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2018.10.022>.

Maidment, Ross, Emily Black y Matthew Young. 2017. "Estimaciones de precipitaciones diarias de TAMSAT (versión 3.0)". Universidad de Reading. <https://doi.org/10.17864/1947.112>.

Maidment, Ross I, David Grimes, Emily Black, Elena Tarnavsky, Matthew Young, Helen Greatrex, Richard P Allan, et al. 2017. "Un nuevo conjunto de datos de precipitaciones diarias por satélite a largo plazo para la vigilancia operativa en África". *Scientific Data* 4 (1): 170063. <https://doi.org/10.1038/sdata.2017.63>.

Met Office. s.f. "Efectos del cambio climático". Met Office. Consultado el 24 de enero de 2023. <https://www.metoffice.gov.uk/weather/cambio-climatico/efectos-del-cambio-climatico>.

Michel, Gero, ed. 2018. *Modelización del riesgo de peligros y desastres*. Ámsterdam, Países Bajos: Elsevier. NASA. 2015. "GPM - Medición global de la precipitación". Texto. NASA. 18 de febrero de 2015. [http://www.nasa.gov/mision\\_pages/GPM/main/index.html](http://www.nasa.gov/mision_pages/GPM/main/index.html).

Nobre, A.D., L.A. Cuartas, M. Hodnett, C.D. Rennó, G. Rodrigues, A. Silveira, M. Waterloo y S. Saleska. 2011. "Altura sobre el drenaje más cercano - un nuevo modelo de terreno hidrológicamente relevante". *Journal of Hydrology* 404 (1-2): 13-29. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2011.03.051>.

Rentschler, Jun, y Melda Salhab. 2020. "1.470 millones de personas se enfrentan al riesgo de inundaciones en todo el mundo: Para más de un tercio, podría ser devastador". Blogs del Banco Mundial (blog). 12 de noviembre de 2020. <https://blogs.worldbank.org/climatechange/147-billion-people-face-flood-risk-worldwide-over-third-it-could-be-devastating>

Sampson, Christopher C., Andrew M. Smith, Paul D. Bates, Jeffrey C. Neal y Mark A. Trigg. 2016. "Perspectives on Open Access High Resolution Digital Elevation Models to Produce Global Flood Hazard Layers". *Frontiers in Earth Science* 3 (enero). <https://doi.org/10.3389/feart.2015.00085>.

Scussolini, Paolo, Jeroen C. J. H. Aerts, Brenden Jongman, Laurens M. Bouwer, Hessel C. Winsemius, Hans de Moel y Philip J. Ward. 2016. "FLOPROS: Una base de datos mundial en evolución de las normas de protección contra inundaciones". *Riesgos Naturales y Ciencias del Sistema Terrestre* 16 (5): 1049-61. <https://doi.org/10.5194/nhess-16-1049-2016>.

Tellman, Beth, Upmanu Lall, A. K. M. Saiful Islam y Md Ariffuzaman Bhuyan. 2022. "Regional Index Insurance Using Satellite-Based Fractional Flooded Area". *Earth's Future* 10 (3). <https://doi.org/10.1029/2021EF002418>.

Tellman, Beth, Jonathan A. Sullivan y Colin S. Doyle. 2021. "Observación global de inundaciones con múltiples satélites: Applications in Rio Salado (Argentina) and the Eastern Nile Basin". En *Geophysical Monograph Series*, editado por Huan Wu, Dennis P. Lettenmaier, Qihong Tang, y Philip J. Ward, 1ª ed., 99-121. Wiley. <https://doi.org/10.1002/9781119427339.ch5>.

UNDRR. s.f. "Iniciativa DesInventar Código Abierto de las Naciones Unidas". Consultado en 2022. <https://www.desinventar.net/>.

UNDRR, y GFDRR. 2022. "Fomento de los bienes públicos digitales para la reducción del riesgo de desastres y la adaptación al cambio climático".

Wallemacq, Pascaline, y Rowena House. 2018. "Pérdidas económicas, pobreza y desastres: 1998-2017." <https://www.undrr.org/publication/economic-losses-poverty-disasters-1998-2017>.

Grupo del Banco Mundial. 2019. "Impulsar la resiliencia financiera a los choques por desastres: Buenas prácticas y nuevas fronteras". Documento técnico. Washington, DC: Banco Mundial. <https://doi.org/10.1596/31887>.

Yamazaki, Dai, Daiki Ikeshima, Jeison Sosa, Paul D. Bates, George H. Allen y Tamlin M. Pavelsky. 2019. "MERIT Hydro: Un mapa hidrográfico global de alta resolución basado en el último conjunto de datos de topografía". *Investigación de recursos hídricos* 55 (6): 5053-73. <https://doi.org/10.1029/2019WR024873>.

Yamazaki, Dai, Daiki Ikeshima, Ryunosuke Tawatari, Tomohiro Yamaguchi, Fiachra O'Loughlin, Jeffery C. Neal, Christopher C. Sampson, Shinjiro Kanae y Paul D. Bates. 2017. "Un mapa de alta precisión de las elevaciones globales del terreno". *Geophysical Research Letters* 44 (11): 5844-53. <https://doi.org/10.1002/2017GL072874>.

Disaster Risk Financing  
& Insurance Program



**DF** Insurance  
Development  
Forum