

Título: Inundaciones en España: Octubre 2024

La lluvia de todo un año en un día: Las inundaciones en Valencia en octubre de 2024

Comienzo: 27 octubre 2024

Las inundaciones en España impulsan una mayor preparación frente al cambio climático

Introducción

A finales de octubre de 2024, España experimentó inundaciones catastróficas que afectaron principalmente a las regiones orientales de Valencia, Murcia y Castilla La Mancha. El diluvio se cobró la vida de al menos 227 personas, además de cuantiosas pérdidas materiales (La Moncloa, 2024). Las inundaciones causaron una devastación generalizada, sumergiendo pueblos enteros, destruyendo infraestructuras y desplazando a miles de residentes. El gobierno español declaró el estado de emergencia, movilizando recursos nacionales para ayudar en los esfuerzos de rescate y recuperación. Las estimaciones preliminares sugieren pérdidas económicas que superan los 10 mil millones de euros, incluyendo daños a viviendas, negocios, agricultura e infraestructura pública (AP News, 2024a). Este evento catastrófico ha puesto de manifiesto la necesidad de mejorar la preparación y la resiliencia ante inundaciones frente a la creciente amenaza del clima extremo.

Resumen y Cronología

Las inundaciones de finales de octubre de 2024 en España se encuentran entre los desastres naturales más graves del país en las últimas décadas. Provocadas por un fenómeno conocido como DANA (Depresión Aislada en Niveles Altos), las lluvias torrenciales hicieron que los ríos se desbordaran, causando inundaciones repentinas graves en las regiones orientales y sudorientales (El País, 2024). Las áreas más afectadas incluyeron Valencia, Murcia y partes de Castilla La Mancha, con precipitaciones que superaron los 500 mm en 48 horas.

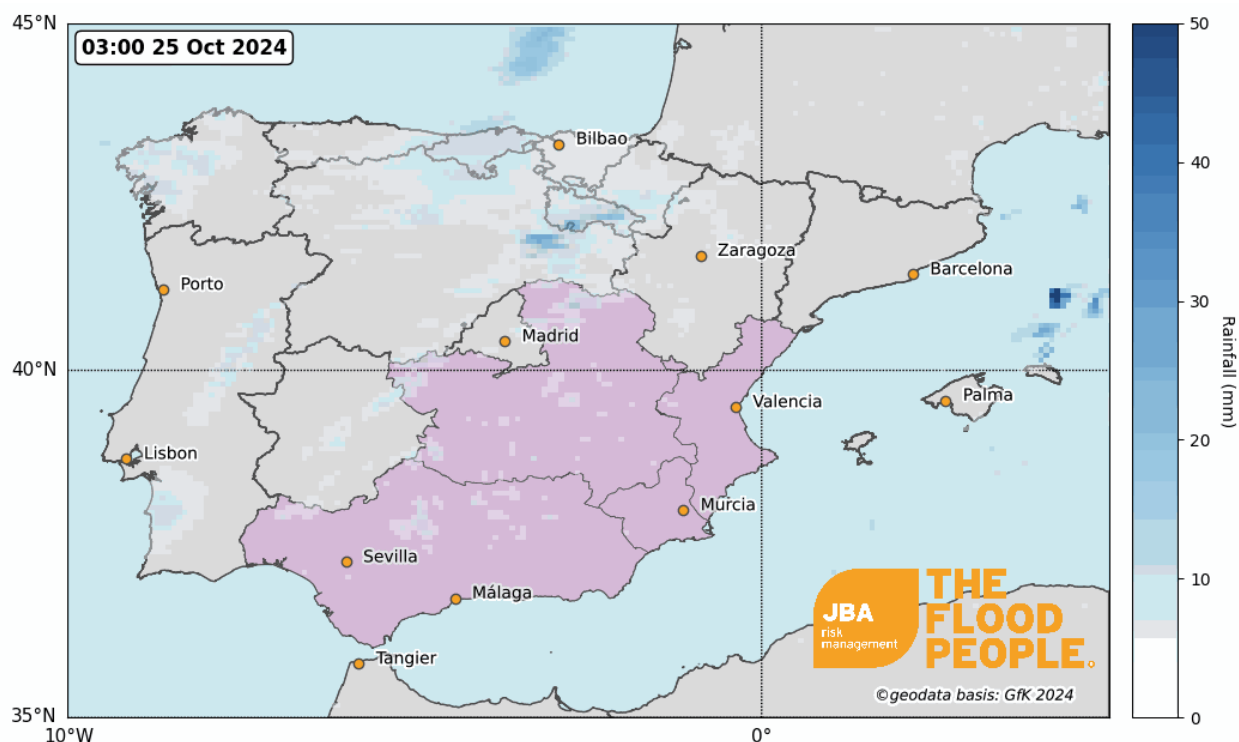


Figura 1: Precipitaciones observadas por satélite en la Península Ibérica entre el 25 de octubre y el 4 de noviembre de 2024. Los datos de precipitación corresponden al producto de acumulación de lluvia cada 3 horas de la NASA GPM (2024). Animación producida por JBA Risk Management (2024).

El evento comenzó el 27 de octubre de 2024 con lluvias intensas sobre suelos ya endurecidos por la sequía, provocando inundaciones repentinas en áreas urbanas y rurales. El 29 de octubre, la tormenta alcanzó su máxima intensidad, dejando más de 400 mm de lluvia en algunas áreas en un solo día. En Chiva (al oeste de Valencia), se registraron 122 mm de lluvia en una hora y 461 mm en 24 horas (El País, 2024). Ríos como el Turia, el Júcar y el Segura se desbordaron, inundando pueblos y aldeas, destruyendo viviendas y arrastrando vehículos. Los servicios de emergencia llevaron a cabo evacuaciones a gran escala mientras que la infraestructura, incluidas carreteras y ferrocarriles, sufría graves daños (AP News, 2024b).

La tormenta comenzó a disiparse el 31 de octubre, pero las inundaciones residuales y los deslizamientos de tierra persistieron, dificultando las operaciones de rescate y recuperación. En las semanas siguientes, las autoridades se centraron en limpiar escombros, restablecer servicios críticos y evaluar los daños generalizados, que incluyeron pérdidas sustanciales en agricultura e infraestructura (AP News, 2024a). El gobierno español aprobó un paquete de recuperación de 10.600 millones de euros para apoyar a las regiones afectadas, mientras las discusiones sobre la mejora de la resiliencia frente a inundaciones y las estrategias de mitigación adquirían mayor urgencia (EuroNews, 2024a).

El Consorcio de Compensación de Seguros de España, una entidad público-privada responsable de cubrir reclamaciones de seguros relacionadas con eventos extremos como las inundaciones, estimó un pago mínimo de 3.500 millones de euros en respuesta a las recientes inundaciones (Consortio de Compensación de Seguros, 2024). Hasta la fecha, el consorcio ha recibido casi 200.000 reclamaciones por daños relacionados con las inundaciones, con un 60% de las reclamaciones correspondientes a vehículos y un 31% a propiedades residenciales. La Asociación de Compañías de Seguros de España ha señalado que este evento probablemente establecerá un nuevo récord en pagos de seguros, destacando la escala sin precedentes del desastre.

Además, a principios de noviembre, la provincia de Málaga, en Andalucía, experimentó lluvias torrenciales que resultaron en inundaciones significativas. La ciudad de Málaga y áreas circundantes fueron particularmente afectadas, con informes de calles sumergidas y redes de transporte interrumpidas. La agencia meteorológica nacional (AEMET) emitió alertas rojas y miles de residentes fueron evacuados como medida de precaución (EuroNews, 2024b).

Qué causó la lluvia torrencial en Valencia?

Una DANA, o "gota fría", ocurre cuando una masa de aire frío de latitudes altas se aísla de la corriente en chorro polar y queda atrapada en la parte alta de la atmósfera. Cuando el aire frío interactúa con aire cálido y húmedo, como el del Mar Mediterráneo, se crea una inestabilidad atmosférica que produce condiciones climáticas severas como lluvias torrenciales, tormentas eléctricas, granizo y ocasionalmente vientos fuertes (Live Science, 2024). Estos sistemas son relativamente comunes en la región mediterránea durante el otoño, donde cualquier intrusión de aire frío en altura puede interactuar con tierra y mar, donde la temperatura residual es aún alta tras el verano.

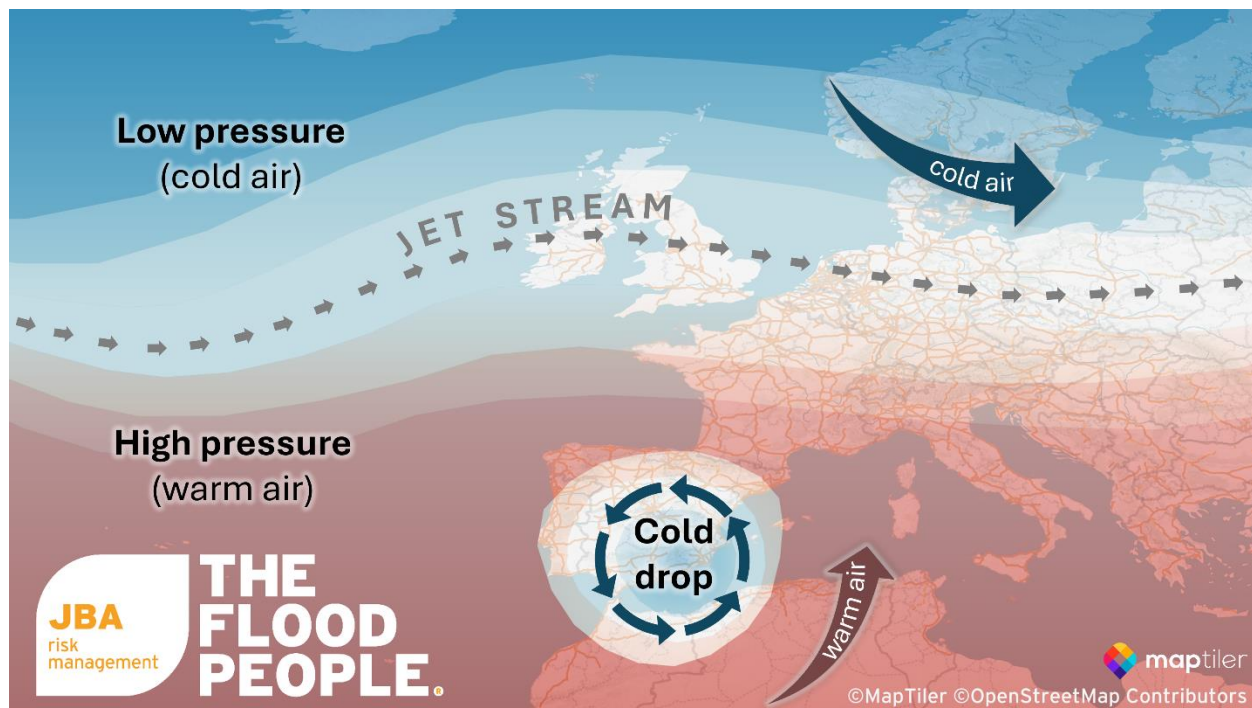


Figura 2: Desarrollo de una DANA (Depresión Aislada en Niveles Altos) sobre el sureste de España. Un área de aire frío se aísla de la corriente en chorro polar y genera lluvias intensas en la región (MeteoFrance, 2024).

Estas DANAs son conocidas por su movimiento lento, lo que puede prolongar las lluvias intensas sobre áreas específicas, causando inundaciones localizadas, deslizamientos de tierra y destrucción generalizada. Su impacto se ve exacerbado por temperaturas del mar más cálidas, que aumentan la disponibilidad de humedad e intensifican las lluvias (MetMatters, 2024). Con el aumento de temperatura de los mares y una atmósfera más cálida capaz de retener mayor cantidad de vapor de agua, se espera que el cambio climático incremente la severidad de las DANAs y, por lo tanto, aumente los riesgos de estos eventos destructivos en las regiones vulnerables (WMO, 2024). De hecho, un análisis preliminar estimó que la probabilidad de una intensidad de las lluvias como la del evento de Valencia fue duplicada debido al calentamiento global de 1.3°C que hemos experimentado (WWA, 2024).

Eventos históricos destacados

España ha sufrido numerosos eventos de inundaciones devastadoras a lo largo de su historia, a menudo determinados por una combinación de condiciones naturales y factores humanos. Estos eventos han causado numerosas muertes, daños en infraestructuras y desplazamientos masivos, poniendo de relieve las vulnerabilidades de ciertas regiones frente a fenómenos climáticos extremos. A continuación, se resume en una tabla algunos de los eventos de

inundación más notables, junto con sus causas e impactos, proporcionando contexto para la gravedad de las inundaciones de 2024.

Evento	Descripción	Impacto
Inundaciones en Andalucía y Levante, 2019 (Confederación Hidrográfica del Segura, 2024)	Un evento DANA causó graves inundaciones en el este y sureste de España, afectando Valencia, Alicante, Murcia y Almería.	Siete fallecidos; daños de aproximadamente 2.000 millones de euros. Decenas de miles evacuados, con destrucción significativa de infraestructuras, incluidas carreteras y líneas ferroviarias.
Riada de Sant Llorenç, 2018 (Estrany et al., 2020)	Una tormenta torrencial repentina provocó inundaciones en Sant Llorenç des Cardassar, en la isla de Mallorca.	13 fallecidos; destrucción de viviendas, carreteras y puentes, con daños superiores a los 100 millones de euros.
Desastre del camping de Biescas, 1996 (White et al., 1997)	Una riada causada por una tormenta barrió un camping en Biescas, Aragón.	87 fallecidos y decenas de heridos. El desastre resaltó la mala planificación territorial, ya que el camping estaba ubicado en una zona propensa a inundaciones.
Inundaciones de Murcia and Alicante, 1987 (Confederación Hidrográfica del Segura, 2024)	Una serie de tormentas provocaron inundaciones generalizadas en el sureste de España, particularmente en la cuenca del río Segura.	Más de 300 fallecidos; daños extensos en la agricultura y las infraestructuras.
Inundaciones del Vallès, 1962 (20minutos, 2024)	Inundaciones en el Vallès Occidental causadas por una gota fría con lluvias intensas que desbordaron los ríos Llobregat y Besòs.	815 fallecidos; daños extensos en la agricultura e infraestructuras, lo que motivó una respuesta humanitaria a gran escala.
Riada de Valencia, 1957 (Las Provincias, 2016)	Una inundación catastrófica causada por lluvias torrenciales que desbordaron el río Turia.	Más de 80 fallecidos; miles de viviendas destruidas, lo que llevó a un desplazamiento masivo. La inundación impulsó el desvío del río Turia mediante el Plan Sur para prevenir futuros desastres.

Las recientes inundaciones de 2024 en España, particularmente en Valencia y Murcia, son comparables a las inundaciones por DANA de 2019 en términos de condiciones meteorológicas, incluida la intensidad de las precipitaciones, pero superan a muchos eventos pasados en cuanto a daños económicos, extensión geográfica y destrucción de

infraestructuras. Sin embargo, la inundación de Valencia de 1957 sigue siendo una de las más devastadoras en la historia de España, dado su impacto transformador en la planificación urbana y las políticas de gestión de inundaciones.

Eventos de magnitud similar han ocurrido en otros países mediterráneos. Las inundaciones de Tesalia en Grecia en 2023, causadas por la tormenta Daniel, resultaron en más de 4.000 millones de euros en daños. Las inundaciones en Emilia-Romaña, Italia, en 2023, desplazaron a decenas de miles de personas y causaron más de 6.000 millones de euros en pérdidas. Estos eventos destacan que la región mediterránea puede ser cada vez más vulnerable a fenómenos climáticos extremos a medida que el clima cambia.

Comprendiendo la incertidumbre: Lecciones de Valencia

Los modelos de catástrofes por inundaciones son herramientas utilizadas para estimar las pérdidas financieras derivadas de eventos de inundación al integrar los factores de peligro, exposición, vulnerabilidad e impactos financieros. Sin embargo, existen numerosas incertidumbres en cada uno de estos componentes que, al propagarse a través de la cadena de modelado, pueden generar grandes incertidumbres en la estimación de las pérdidas. Aquí exploramos la incertidumbre en las estimaciones de pérdidas de modelos de catástrofes por inundaciones, provenientes de desastres como los de Valencia, con un enfoque en dos factores críticos: las curvas de vulnerabilidad y el cambio climático.

Cómo la incertidumbre impacta las estimaciones de pérdidas

Para explorar cómo estas incertidumbres afectan las predicciones de pérdidas, realizamos dos análisis utilizando nuestro modelo de catástrofes por inundación, el **JBA Global Flood Model**.

Primero, llevamos a cabo un **Análisis Base**. Utilizando un conjunto de eventos base sin considerar la incertidumbre, estimamos una pérdida para un período de retorno de 200 años de \$168.3M (€160.4M) para una cartera residencial a nivel de ubicación (latitud-longitud) en España. Los valores asegurados totales se derivaron utilizando el Producto Interno Bruto como indicador.

Segundo, realizamos un **Análisis Inclusivo de la Incertidumbre**. Para ello, variamos tres variables de nuestro modelo que corresponden a las tres fuentes de incertidumbre:

1. Intensidad del peligro

En este caso, la intensidad del peligro se define simplemente como la altura del agua en la inundación. Esta se determina mediante un conjunto complejo de modelos físicos y procesamiento de datos, que introducen incertidumbre en el valor.

Para explorar la incertidumbre en la intensidad del peligro, perturbamos la altura del agua en la inundación en cada punto muestreando a través de una distribución uniforme.

2. Curvas de vulnerabilidad

Las curvas de vulnerabilidad traducen la intensidad del peligro en daños a un activo mediante un índice de daño, que convierte la intensidad del peligro en una pérdida, generalmente expresada como una fracción del valor total asegurado. Normalmente, las curvas de vulnerabilidad de la industria utilizan la altura del agua de la inundación como el factor clave que determina el daño. Sin embargo, en eventos de inundación como el de Valencia, las lluvias intensas y las superficies urbanas pueden generar alta velocidad del agua, acumulación de sedimentos y escombros, amplificando las fuerzas destructivas más allá de lo causado por la profundidad de la inundación.

Para explorar la incertidumbre derivada de nuestra comprensión incompleta de cómo factores como la altura del agua en la inundación, la velocidad del agua, los escombros y la contaminación contribuyen al daño, perturbamos las funciones de vulnerabilidad a través de sus índices de daño (muestreando con una distribución beta). Un estudio más completo utilizaría funciones de vulnerabilidad específicas que consideren estos factores adicionales.

3. Cambio climático

Los modelos de catástrofes por inundación capturan el rango de eventos plausibles a través de un amplio catálogo, conocido como catálogo de eventos (**event set**). En muchos lugares, el cambio climático probablemente intensificará los eventos de inundación. Sin embargo, dado que el catálogo de eventos se construye a partir de estadísticas de frecuencia y severidad de eventos de inundación pasados, podrían no reflejar cambios recientes debido al cambio climático, introduciendo incertidumbre en la estimación de pérdidas tanto de eventos frecuentes como raros.

Para explorar cómo un cambio en la frecuencia y severidad de los eventos de inundación impulsado por el cambio climático puede impactar la incertidumbre en las pérdidas, ejecutamos el **Global Flood Model** con conjuntos de eventos condicionados para un clima 2°C por encima de las temperaturas preindustriales (es decir, ~0.7°C más cálido que el actual). El impacto del cambio climático en el peligro de inundación es incierto (tanto en magnitud como en patrones espaciales), especialmente en la región mediterránea (por ejemplo, Zappa y Shepherd, 2017). Por lo tanto, creamos tres conjuntos de eventos condicionados al clima utilizando los resultados

de tres modelos climáticos globales (**GFDL-ESM4**, **MRI-ESM2-0** y **UKESM1-0-LL**) para representar diferentes "escenarios" del impacto del cambio climático. En general, todos estos modelos climáticos proyectan disminuciones climáticas amplias en el caudal de los ríos y disminuciones localizadas en las precipitaciones, junto con áreas más extensas de aumento de la precipitación. Las áreas específicas y la magnitud de estos cambios varían sustancialmente entre los modelos.

Ejecutando el **Global Flood Model** 300 veces con diferentes combinaciones de las tres variables, producimos una distribución de estimaciones de pérdidas, que se muestra en la Figura 3. La estimación de pérdida base (línea continua azul), excluyendo incertidumbre, se encuentra en la cola inferior de la distribución de pérdidas. Tomando estos resultados de pérdidas literalmente, si esta fuera la visión del riesgo, habría una alta probabilidad de subestimar las pérdidas. Por otro lado, la pérdida promedio en las 300 simulaciones (línea de puntos azul) proporciona una estimación más conservadora, pero por sí sola no captura las posibilidades extremas.

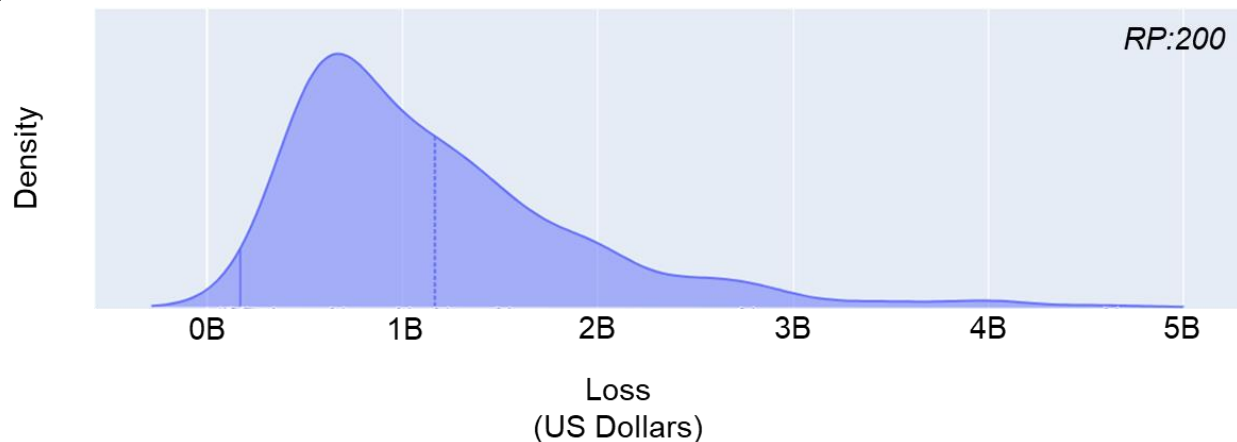


Figura 3 Distribución de pérdidas estimadas para una probabilidad de excedencia correspondiente a un periodo de retorno de 200 años. La densidad en este gráfico se refiere a la estimación empírica de la función de densidad de probabilidad.

¿Qué propicia las pérdidas extremas?

Los gráficos de coordenadas paralelas pueden ayudarnos a explorar con mayor claridad los factores que provocan resultados extremos, identificando combinaciones de variables que generan pérdidas extremas. En la Figura 4 se muestra un gráfico de coordenadas paralelas para este análisis. Este gráfico consta de ejes verticales paralelos cruzados por líneas que van de izquierda a derecha.

Los tres primeros ejes verticales representan, respectivamente, el índice de daño, la intensidad del peligro (ambos con los diferentes factores de perturbación indicados en los ejes) y los conjuntos de eventos de inundación (**event sets**; cada valor indicado en este eje representa un

conjunto de eventos diferente; ver pie de figura). El eje vertical de la derecha muestra las estimaciones de pérdida a nivel de cartera para un período de retorno de 200 años. Cada línea cruzada representa una de las 300 simulaciones del modelo de catástrofe, cada una con su combinación específica de las tres variables, tal como se especifica en los tres ejes verticales de la izquierda, llegando al valor de pérdida mostrado en el eje derecho.

En la Figura 4, destacamos en púrpura las combinaciones de ariables que conducen a las pérdidas más extremas, definidas como aquellas que superan el percentil 97.5 de la distribución de pérdidas de la muestra. Estas pérdidas extremas están asociadas principalmente con el componente de vulnerabilidad, y todas las líneas púrpuras parten de donde la vulnerabilidad es mayor. Aunque es posible que se produzcan pérdidas extremas a partir de todos los conjuntos de eventos, la mayoría se generan a partir del conjunto de eventos base donde, como se mencionó anteriormente, la intensidad del peligro suele ser mayor que en los conjuntos de eventos condicionados por el clima.

Sin embargo, sigue siendo incierto si este es el impacto real del cambio climático en el peligro de inundación en España. Un análisis más completo debería investigar otros futuros plausibles, incluyendo evidencia basada en observaciones (por ejemplo, WWA, 2024).

Al mismo tiempo, las pérdidas extremas también son posibles con una intensidad de peligro reducida si se combinan con una alta vulnerabilidad. Si asumimos que una alta vulnerabilidad actúa como indicador de un peligro de inundación intensificado (por ejemplo, considerando los daños causados por flujos de agua de alta velocidad), esta “alta vulnerabilidad” es relevante para las recientes inundaciones en Valencia.

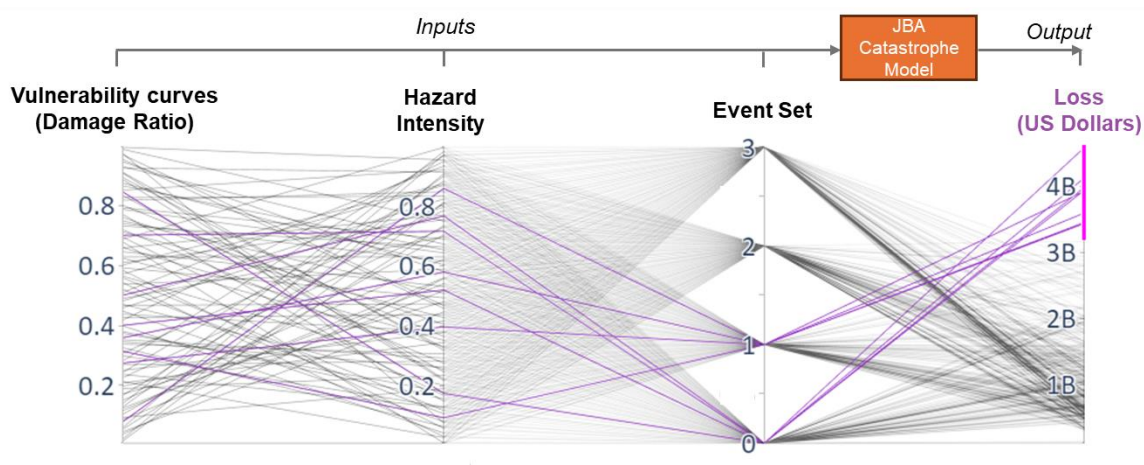


Figura 4. Un gráfico de coordenadas paralelas que destaca la combinación de entradas que conducen a pérdidas extremas. Para el eje de catálogo de eventos (event set), los valores corresponden a los siguientes conjuntos de eventos: 0 – GFDL-ESM4, 1 – MRI-ESM2-0, 2 – UKESM1-0-LL, 3 – base.

Si bien una investigación más detallada podría delimitar mejor los rangos plausibles de los parámetros que estudiamos (así como identificar otros factores de incertidumbre), este análisis

destaca cuán sensibles son las estimaciones de pérdidas a los supuestos que utilizamos para modelarlas. Como hemos demostrado, ignorar esta incertidumbre podría llevar a subestimar las pérdidas potenciales, dejando a las comunidades y partes interesadas desprevenidas.

Conclusión

Las inundaciones catastróficas, como las observadas en Valencia, continuarán ocurriendo, quizás con intensidad y regularidad variables. Sin embargo, nuestro conocimiento y comprensión de estos eventos seguirá aumentando y, con ello, es de esperar que la sociedad esté mejor preparada, mediante sistemas de alerta temprana mejorados y una mayor resiliencia. Para los gestores de riesgos y usuarios de modelos de catástrofes en todas las industrias, comprender las incertidumbres en las estimaciones de pérdidas puede llevar a tomar mejores decisiones, garantizando que la sociedad esté más preparada para un clima en constante cambio.

Referencias

20minutos, 2024. De la riada del Vallés a la tragedia del 'camping' de Biescas: las peores inundaciones y DANA de la historia de España. [Online]. Available at: <https://www.20minutos.es/noticia/5649324/0/las-peores-danas-inundaciones-historia-espana/> [Accessed 20 November 2024]

AP News, 2024a. Spain's catastrophic floods by the numbers: At least 219 dead, 93 missing and billions in damage. [Online]. Available at: <https://apnews.com/article/spain-floods-valencia-numbers-21fccd4a9eba4fada0745db0a5a0dd12> [Accessed 19 November 2024]

AP News, 2024b. Baby girl and her mother among those lost in Spain's catastrophic flooding. [Online]. Available at: <https://apnews.com/article/spain-floods-valencia-climate-1e568750b3fd10424483c0eb1f24c752> [Accessed 19 November 2024]

Confederación Hidrográfica del Segura, 2024. Chronology of floods in the Segura basin. [Online]. Available at: <https://www.chsegura.es/en/confederacion/unpocodehistoria/cronologia-de-riadas-en-la-cuenca-del-Segura/> [Accessed 21 November 2024]

Consorcio de Compensación de Seguros 2024. Fourth briefing note on the extraordinary floods caused by the DANA (cut-off low) from 26 October to 4 November. [Online]. Available at: https://www.consorseguros.es/documents/10184/0/4_nota_DANA_Oct_2024_151124.pdf/94d9c87a-3262-9d2d-e030-e6424caa2706?t=1731678870564 [Accessed 19 November 2024]

El País, 2024. A visual guide to understanding the deadly floods in Spain. [Online]. Available at: <https://english.elpais.com/climate/2024-11-01/a-visual-guide-to-understanding-the-deadly-floods-in-spain.html> [Accessed 19 November 2024]

Estrany, Joan, et al., 2020. Hydrogeomorphological analysis and modelling for a comprehensive understanding of flash-flood damage processes: The 9 October 2018 event in northeastern Mallorca. *Natural Hazards and Earth System Sciences* 20(8), 2195-2220.

EuroNews, 2024a. Spain's government approves €10.6 billion relief package for flood victims. [Online]. Available at: <https://www.euronews.com/2024/11/05/spains-government-approves-106-billion-relief-package-for-flood-victims> [Accessed 19 November 2024]

EuroNews, 2024b. Spain floods: Thousands of people evacuated in Málaga as country braces for new storms. [Online]. Available at: <https://www.euronews.com/my-europe/2024/11/13/spain-floods-thousands-of-people-evacuated-in-malaga-as-country-braces-for-new-storms> [Accessed 19 November 2024]

La Moncloa, 2024. Data update from the Government of Spain 19/11/2024. [Online]. Available at: <https://www.lamoncloa.gob.es/info-dana/Paginas/2024/191124-datos-seguimiento-actuaciones-gobierno.aspx> [Accessed 19 November 2024]

La Provincias, 2016. Así fue la riada de Valencia del 14 de octubre de 1957. [Online]. Available at: <https://www.lasprovincias.es/valencia-ciudad/201610/13/riada-valencia-octubre-1957-20161013101706.html> [Accessed 20 November 2024]

Live Science 2024. What is DANA, the strange weather phenomenon that has caused deadly flooding in Spain? [Online]. Available at: <https://www.livescience.com/planet-earth/weather/what-is-dana-the-strange-weather-phenomenon-that-has-caused-deadly-flooding-in-spain> [Accessed 19 November 2024]

MeteoFrance, 2024. Inondations en Espagne : Valence touchée par des pluies dévastatrice. [Online]. Available at: <https://meteofrance.com/actualites-et-dossiers/actualites/inondations-en-espagne-valence-touchee-par-des-pluies> [Accessed 19 November 2024]

MetMatters, 2024. Cut-off lows, cold drops and DANA, Royal Meteorological Society. [Online]. Available at: <https://www.rmets.org/metmatters/cut-lows-cold-drops-and-dana> [Accessed 21 November 2024]

NASA Global Precipitation Measurement (GPM), 2024. Precipitation Data Directory. [Online]. Available at: <https://gpm.nasa.gov/data/directory> [Accessed 19 November 2024]

White, S., García- Ruiz, J. M., Martí, C., Valero, B., Errea, M. P., & Gómez- Villar, A., 1997. The 1996 Biescas campsite disaster in the Central Spanish Pyrenees, and its temporal and spatial context. *Hydrological Processes*, 11(14), 1797-1812.

World Meteorological Organization, 2024. Devastating rainfall hits Spain in yet another flood-related disaster [Online]. Available at: <https://wmo.int/media/news/devastating-rainfall-hits-spain-yet-another-flood-related-disaster> [Accessed 22 November 2024]

World Weather Attribution, 2024. Extreme downpours increasing in southeastern Spain as fossil fuel emissions heat the climate. [Online]. Available at: <https://www.worldweatherattribution.org/extreme-downpours-increasing-in-southern-spain-as-fossil-fuel-emissions-heat-the-climate/> [Accessed 22 November 2024]