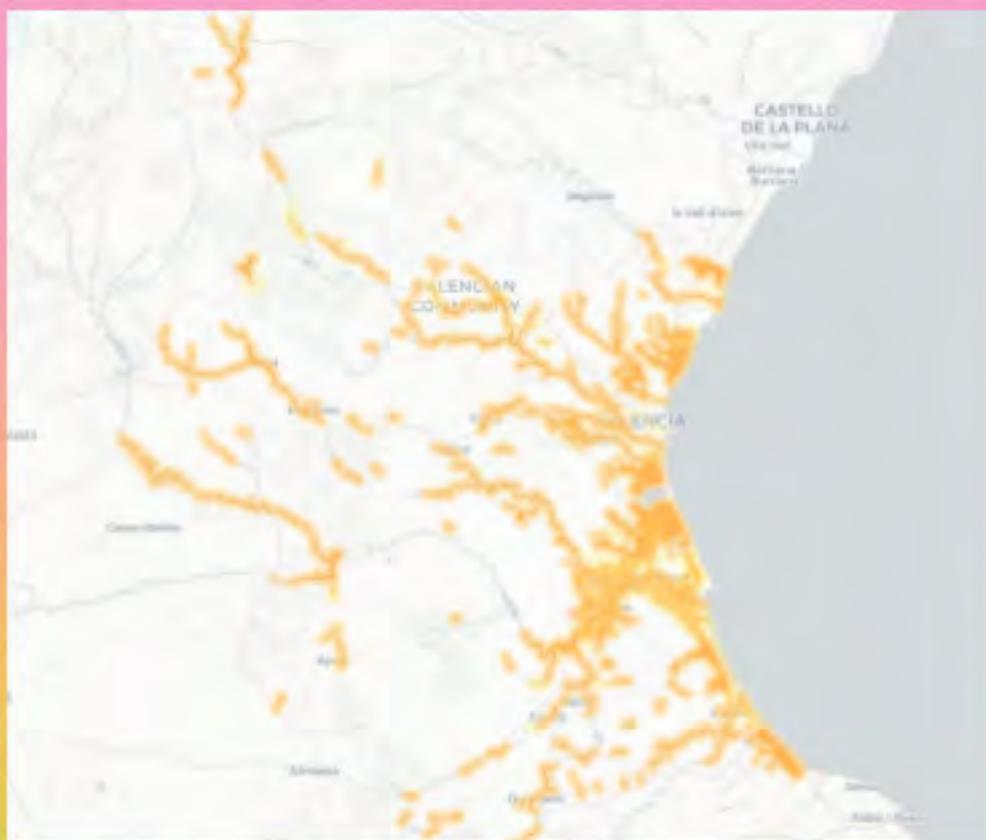


Análisis del riesgo de futuras inundaciones similares a la DANA a lo largo de 10, 100 y 500 años

VISUALIZACIÓN DE DATOS
2º CIENCIA DE DATOS



Adrià Reyes Machancoses, Paula Sigüenza Cruces, María Latorre Domenech, María García Rodríguez y Úrsula Casaus Fabra

Índice

1. Introducción	2
2. Metodología	5
2.1. Análisis exploratorio de los datos	5
2.2. Preprocesado de Datos	5
2.3. Preprocesado de la información geográfica	6
2.4. Elección de gráficas para los distintos tipos de datos	7
2.5. Diseño del mapa e interactividad	10
2.6. Diseño del cuadro de mandos	11
2.7. Implementación	12
3. Resultados	13
4. Discusión	17
5. Conclusiones	18
6. Referencias	19

1. Introducción

Presentación del contexto y la importancia del problema

Las inundaciones son uno de los desastres naturales más comunes y dañinos que afectan al litoral mediterráneo español. En los últimos años, estos eventos se han vuelto más frecuentes e intensos, en gran parte por el cambio climático.

Las temperaturas más altas provocan una mayor evaporación del agua del mar Mediterráneo, lo que aumenta la humedad en el aire. Cuando esta humedad se encuentra con masas de aire frío en altura, se generan lluvias muy intensas en poco tiempo.

La provincia de Valencia es especialmente vulnerable a este tipo de lluvias extremas por varias razones. Por un lado, su relieve incluye muchas cuencas pequeñas y empinadas que dirigen rápidamente el agua hacia zonas pobladas. Por otro lado, se ha construido mucho en áreas que antes eran espacios naturales, lo que ha reducido la capacidad del suelo para absorber el agua de lluvia.

El 29 de octubre de 2024, una DANA (Depresión Aislada en Niveles Altos) impactó con fuerza en esta región. Este fenómeno, conocido también coloquialmente como “gota fría”, ocurre cuando una masa de aire frío se queda atrapada en altura y choca con aire cálido y húmedo en las capas más bajas. Este contraste provoca mucha inestabilidad en la atmósfera, lo que favorece la formación de tormentas muy fuertes.

En esta ocasión, la situación fue especialmente grave por varios factores:

- El mar Mediterráneo estaba más cálido de lo normal, lo que aumentó la cantidad de vapor en el aire.
- Había un gran contraste entre el aire frío en altura y el aire cálido en superficie, lo que reforzó las tormentas.
- El sistema de tormentas se mantuvo sobre la misma zona durante muchas horas, provocando acumulaciones de lluvia muy elevadas.

Estos antecedentes subrayan la necesidad de identificar y comprender las zonas con mayor riesgo de inundación, especialmente en un contexto de creciente recurrencia de eventos extremos. La disponibilidad de datos espaciales permite analizar cómo varía este riesgo en función de distintos periodos de retorno, lo que resulta clave para apoyar estrategias de prevención y preparación ante futuras DANAs u otros fenómenos similares.

¿Cómo se forma una DANA (Depresión Aislada en Niveles Altos)?

ESTE FENÓMENO ANUAL SE PRODUCE ESPECIALMENTE EN LA VERTIENTE MEDITERRÁNEA DE LA PENÍNSULA



Las consecuencias fueron graves: inundaciones en varios municipios, infraestructuras colapsadas, carreteras cortadas, viviendas afectadas y pérdidas agrícolas importantes.

Estudiar con detalle este evento es fundamental para saber si las zonas que se inundaron estaban correctamente identificadas como áreas de riesgo en los mapas oficiales. Estos mapas son herramientas clave que se usan para decidir dónde se puede construir, cómo proteger a la población y cómo prepararse ante posibles emergencias.

Sin embargo, cuando ocurre un episodio tan extremo y los daños no coinciden con lo que marcaban esos mapas, es señal de que algo no se está haciendo bien. Puede ser que los mapas estén desactualizados o que no tengan en cuenta factores como el cambio climático o el crecimiento urbano.

Detectar estas diferencias entre lo que se preveía (riesgo teórico) y lo que realmente pasó (daño real) es esencial para mejorar la planificación. Esto incluye:

- Actualizar los mapas de riesgo con datos más recientes.
- Revisar las normas de construcción y uso del suelo.
- Mejorar las infraestructuras de drenaje y las defensas contra inundaciones.
- Fortalecer los sistemas de alerta temprana y los planes de emergencia.

Además, este tipo de análisis ayuda a que las instituciones, como los ayuntamientos o protección civil, estén mejor preparadas para futuros episodios similares. Saber qué funcionó y qué no permite mejorar la respuesta ante emergencias y proteger mejor a la población.

En definitiva, estudiar la DANA de octubre de 2024 no es solo entender qué pasó, sino también aprender de ello para reducir los riesgos en el futuro y adaptarnos a un clima que actualmente se encuentra en constante cambio.

Revisión de la literatura relevante

En las últimas décadas, la gestión del riesgo de inundaciones en España ha evolucionado desde enfoques reactivos hacia una estrategia preventiva, basada en la planificación territorial y el análisis espacial. La Directiva 2007/60/CE sobre la gestión del riesgo de inundaciones, transpuesta en España por el Real Decreto 903/2010, obliga a elaborar y revisar periódicamente mapas de peligrosidad y riesgo para identificar zonas inundables y guiar la toma de decisiones urbanísticas y de emergencia (MITECO, 2023).

El Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables (SNCZI) centraliza esta información y facilita el acceso público a mapas elaborados por organismos de cuenca como la Confederación Hidrográfica del Júcar. Sin embargo, diversos estudios han señalado limitaciones en estos mapas, como su escasa actualización, la falta de integración de los efectos del cambio climático, o el impacto de la urbanización sobre el comportamiento del agua (Redalyc, 2020).

En el caso de la Comunidad Valenciana, el PATRICOVA (Plan de Acción Territorial contra el Riesgo de Inundación) ha sido una herramienta clave, pero eventos recientes como la DANA de 2024 han puesto en evidencia la necesidad de mejorar la precisión de las zonas de riesgo. Autores como Félix Francés (UPV) subrayan la importancia de incorporar la predicción hidrológica y no solo meteorológica, así como de considerar la cuenca hidrográfica en su conjunto para una gestión más eficaz (El País, 2024).

En resumen, la literatura actual coincide en la necesidad de validar y actualizar los mapas de riesgo con datos recientes, adaptarlos al contexto del cambio climático y revisar las políticas de ordenación del territorio. Todo ello es esencial para reducir la exposición y aumentar la resiliencia frente a futuros eventos extremos.

Objetivos del estudio

El objetivo principal de este proyecto es analizar el riesgo de inundación en la provincia de Valencia a partir de la cartografía oficial disponible para distintos periodos de retorno (entre los próximos 10, 100 y 500 años). Este análisis pretende identificar y visualizar las zonas con mayor probabilidad de verse afectadas por inundaciones en función de su frecuencia estimada, facilitando así una mejor comprensión del riesgo territorial. Estos son los ítems que nos hemos propuesto conseguir para llevar a cabo el proyecto:

- Recopilar y sistematizar datos oficiales sobre el riesgo de inundación, especialmente la cartografía de peligrosidad correspondiente a los escenarios en 10, 100 y 500 años vista.
- Procesar las capas espaciales para representar de forma clara la distribución teórica del riesgo de inundación en el territorio, mediante el uso de Sistemas de Información Geográfica (GIS).
- Identificar posibles patrones espaciales de riesgo, así como áreas que presentan una mayor persistencia del mismo a lo largo de los distintos escenarios temporales.
- Contribuir, a través de esta visualización, a la comprensión del riesgo hidrológico en la Comunidad Valenciana, como herramienta de apoyo para la sensibilización y la planificación territorial preventiva.

2. Metodología

2.1. Análisis exploratorio de los datos

Los datos utilizados en este proyecto han sido obtenidos a través del portal del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO), concretamente del visor cartográfico del Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables. Esta fuente proporciona información oficial y actualizada sobre la peligrosidad por inundación fluvial en el territorio español.

En concreto, se han recopilado capas vectoriales que representan las zonas con riesgo de inundación para tres escenarios distintos de periodo de retorno: 10 años (t10), 100 años (t100) y 500 años (t500). Estas capas constituyen la base del análisis, ya que permiten observar cómo varía la extensión del riesgo en función de la frecuencia esperada del evento.

La cartografía se encuentra originalmente en formato vectorial (shapefile), estructurada por polígonos que delimitan las áreas susceptibles de inundación en cada escenario. Cada capa incluye atributos descriptivos que identifican elementos como el nombre del río, la zona hidrográfica, el tipo de zona inundable o códigos de referencia.

Esta primera exploración nos permitió comprender la estructura general de los datos y su cobertura espacial, así como identificar qué capas resultaban relevantes para los objetivos del estudio. A partir de esta revisión preliminar, seleccionamos las capas correspondientes al ámbito geográfico de la provincia de Valencia como área de análisis.

2.2. Preprocesado de Datos

Tras la recopilación inicial de las capas vectoriales en formato shapefile, se llevó a cabo un proceso de normalización espacial, ya que dichas capas presentaban sistemas de referencia distintos. Para asegurar su correcta compatibilidad y superposición, todas las capas fueron reproyectadas al sistema de referencia EPSG:25830 (ETRS89 / UTM zone 30N), ampliamente utilizado en trabajos cartográficos en España. Esta etapa de reproyección se realizó mediante la herramienta “Reproyectar capa” de QGIS, lo que permitió unificar el sistema de coordenadas en todo el conjunto de datos.

Además, obtuvimos las regiones de influencia (buffers) de cada capa ampliando un kilómetro a la redonda las zonas de riesgo para poder estimar mejor el posible impacto de las inundaciones fluviales.

Una vez unificadas las proyecciones, las capas se exportaron en formato Geopackage (.gpkg), conservando su geometría original y los atributos asociados. Este formato se eligió por su eficiencia y compatibilidad con el entorno R, en el que posteriormente serían procesadas con el paquete sf para su integración en el visor interactivo.

Paralelamente, decidimos también exportar versiones de estas capas en formato CSV, con el fin de disponer de los atributos espaciales en forma tabular y, sobre todo, de obtener las coordenadas de latitud y longitud correspondientes a cada polígono. Esta información no estaba presente en los datos de entrada, por lo que fue necesario calcularla a partir de la geometría.

Para ello, se utilizaron herramientas de QGIS como “Arreglar la geometría” o “Puntos de centroide”, disponibles en el campo de calculadora de atributos o en el menú “Vectores > Herramientas de geometría”. Con estas funciones, se generó un punto representativo para cada polígono (normalmente el centroide), a partir del cual se extrajeron las coordenadas X e Y (longitud y latitud) en el sistema EPSG:4326, facilitando así la localización aproximada de cada zona dentro del visor interactivo.

Finalmente, en el entorno de R se importaron las capas Geopackage mediante el paquete sf, y se transformaron a EPSG:4326 (WGS84), sistema necesario para su correcta visualización en Leaflet. A su vez, incorporamos los archivos en formato CSV, que contenían los atributos tabulares y las coordenadas de latitud y longitud previamente generadas en QGIS. Estas coordenadas facilitaron la localización aproximada de cada polígono en el visor y permitieron asociar información contextual a cada zona a través de elementos interactivos como los popups. Durante este proceso también se verificó la validez de las geometrías y se ajustaron los nombres de los campos para optimizar su tratamiento. La vinculación de ambos formatos de exportación de las capas ha permitido visualizar los datos de forma más estética sin prescindir de la información que acompaña a cada punto del mapa, ya que consideramos primordial tener las coordenadas de cada punto de las zonas de riesgo como referencia sin perder de vista una visión geográfica clara de dichas áreas.

Gracias a este proceso de preprocesado, los datos quedaron totalmente preparados para su análisis y visualización interactiva.

2.3. Preprocesado de la información geográfica

Una vez completado el tratamiento inicial de los archivos geospaciales en QGIS, se procedió a su integración y organización dentro del entorno de trabajo en R. Para ello, se utilizó el paquete sf, que permite importar datos vectoriales en distintos formatos y manipular objetos espaciales de forma eficiente.

Las capas en formato Geopackage fueron leídas con la función `st_read()` y convertidas a objetos de clase sf, conservando tanto la geometría como los atributos alfanuméricos asociados. Cada capa se asignó a una variable diferenciada en R, utilizando una nomenclatura coherente con el periodo de retorno correspondiente (`t10_25830`, `t100_25830`, `t500_25830`), así como para las capas derivadas de los buffers generados (`buffer_riesgo_t10`, `buffer_riesgo_t100`, `buffer_riesgo_t500`), las cuales fueron creadas para cada uno de los tres escenarios de inundación.

Dentro del entorno R, realizamos la transformación de todas las capas al sistema de referencia geodésico EPSG:4326 (WGS84), requisito indispensable para su correcta visualización en el entorno Leaflet. Además, se revisaron los nombres de las columnas

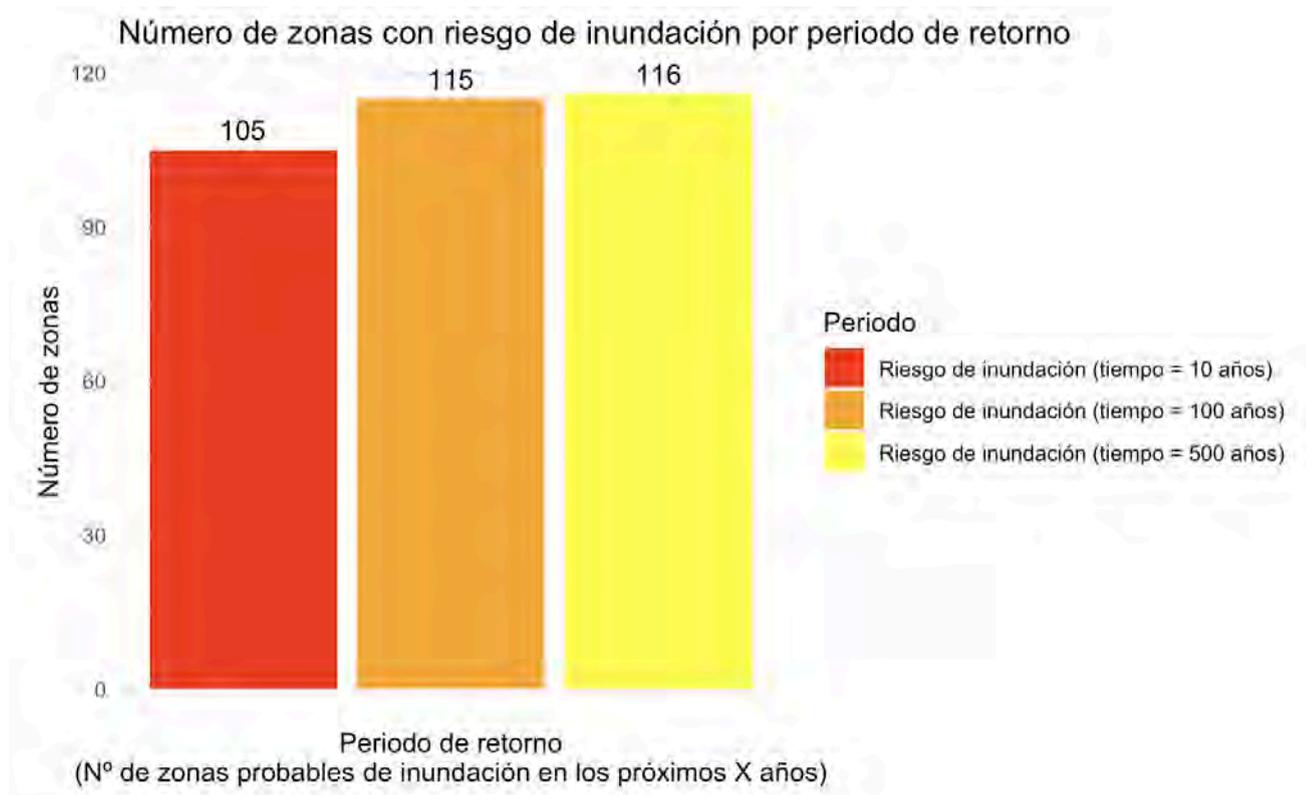
y se eliminaron aquellos campos innecesarios para la aplicación, conservando únicamente la información relevante para la identificación y visualización de las zonas en el visor interactivo (como el nombre de la zona, el río asociado o el tipo de área inundable).

Este preprocesado interno en R resultó clave para estructurar de forma clara las distintas capas temáticas que componen el análisis y preparar la información geográfica para su integración final en la aplicación interactiva desarrollada con Shiny y Leaflet.

2.4. Elección de gráficas para los distintos tipos de datos

A continuación, presentamos una serie de gráficas que permiten visualizar de forma más clara y accesible algunos de los resultados obtenidos a lo largo del proyecto. Estas representaciones ayudan a identificar patrones o diferencias que no se aprecian fácilmente en los mapas, y complementan el análisis espacial realizado previamente.

1. Gráfica 1: Número de zonas con riesgo de inundación por periodo de retorno.



Esta gráfica de barras muestra la cantidad de zonas identificadas con riesgo de inundación según distintos periodos de retorno (10, 100 y 500 años).

El eje X representa el periodo de retorno, es decir, el periodo de tiempo en el que se estima que pueda repetirse un episodio de inundación de características similares a eventos extremos pasados, como una DANA. Se han etiquetado como “10 años”, “100

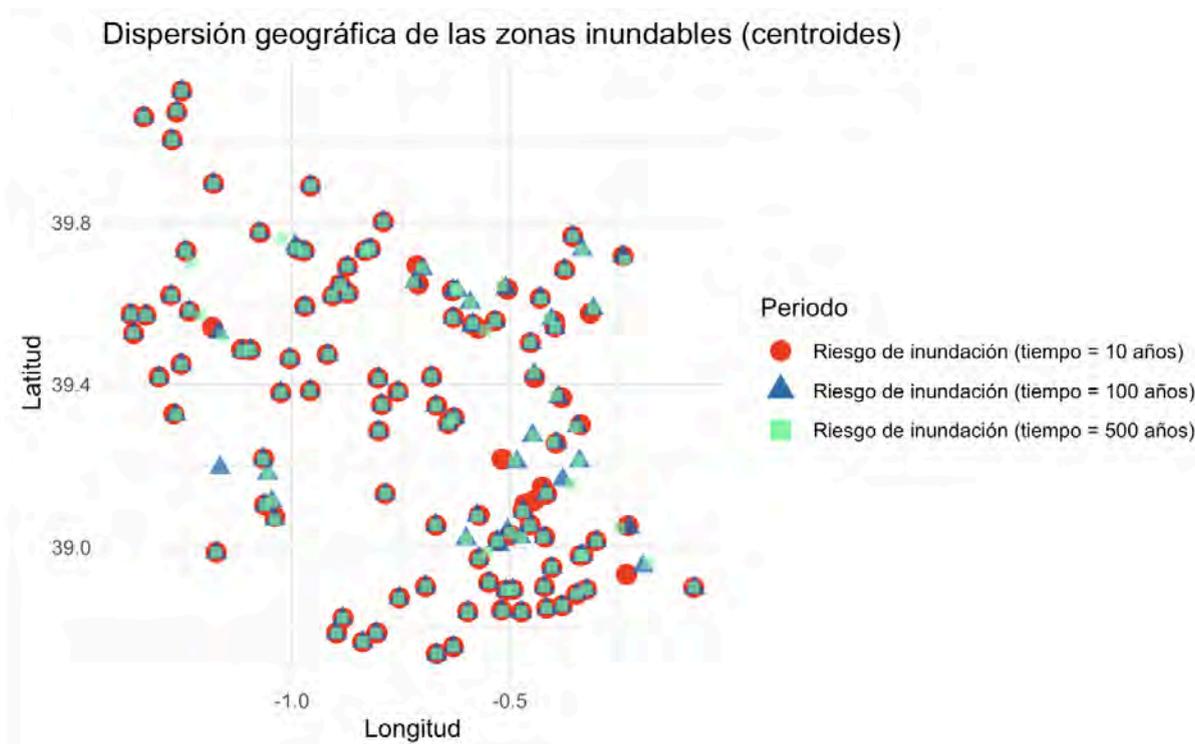
años” y “500 años” y se ha añadido un subtítulo explicativo para aclarar que estas categorías representan zonas con probabilidad de inundación en los próximos X años.

El eje Y indica el número total de zonas identificadas con riesgo de inundación dentro de cada uno de estos escenarios.

Se han utilizado colores diferenciados para cada barra, manteniendo la misma escala cromática empleada en el visor interactivo del proyecto: rojo para 10 años, naranja para 100 años y amarillo para 500 años. Esta coherencia visual permite al lector asociar fácilmente las gráficas con el mapa principal y comprender de forma intuitiva a qué escenario corresponde cada barra.

Además, sobre cada barra se ha añadido una etiqueta numérica que indica el valor exacto del número de zonas en riesgo, lo cual facilita la interpretación rápida y precisa de los datos.

2. Gráfica 2: Gráfica 2: Dispersión geográfica de las zonas inundables (centroides)



La siguiente gráfica representa la distribución geográfica de los centroides de las zonas con riesgo de inundación para los tres periodos de retorno analizados: 10, 100 y 500 años. En el eje X se muestra la longitud y en el eje Y la latitud, lo que nos permite

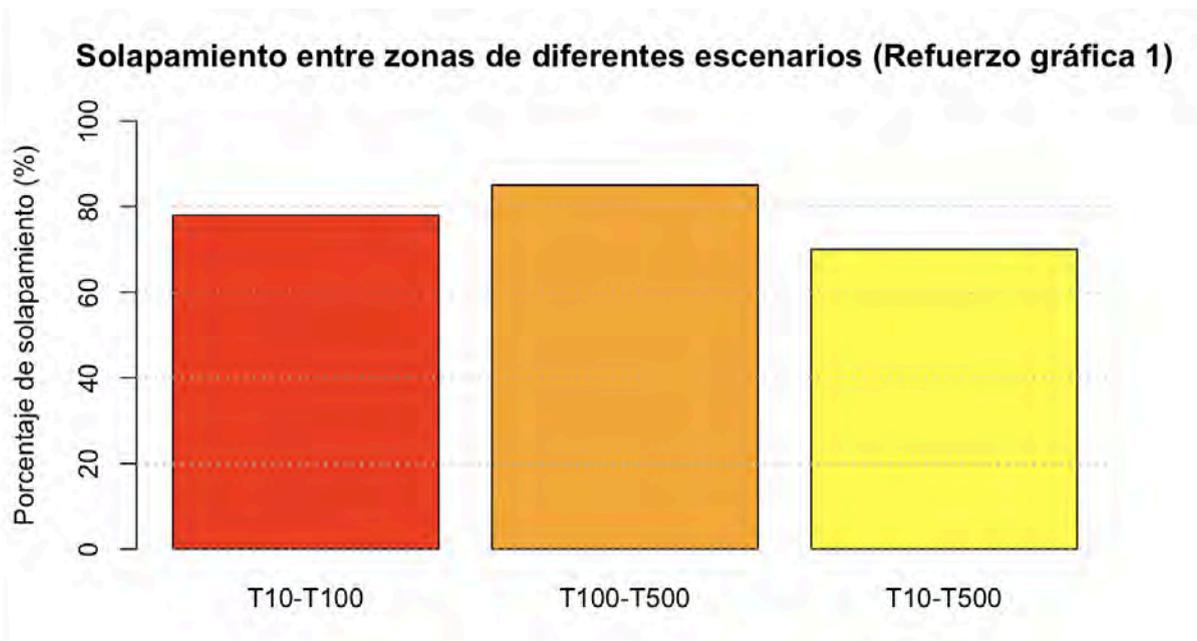
ubicar espacialmente cada zona en el territorio. Los datos representados son los centroides geométricos de cada polígono de riesgo, es decir, un punto central que resume la posición de cada zona.

Para facilitar la comparación, se han utilizado formas y tamaños distintos para cada periodo de retorno: los círculos rojos (más grandes) representan las zonas con riesgo a 10 años, los triángulos azules (de tamaño medio) corresponden al periodo de 100 años, y los cuadrados verdes (más pequeños) al de 500 años. Esta diferenciación visual permite apreciar mejor los casos en los que varias zonas coinciden espacialmente y evita que unos puntos oculten a otros por superposición.

A través de esta visualización, podemos observar varios patrones interesantes. Por un lado, se aprecia una clara concentración de zonas inundables en determinadas áreas del mapa, especialmente próximas a la costa, lo que refleja la vulnerabilidad del litoral valenciano. Además, si se compara la posición relativa de los puntos según el periodo de retorno, se puede apreciar que las zonas con menor horizonte temporal (T10) tienden a estar más próximas al mar, mientras que las asociadas a un riesgo más lejano (T500) se distribuyen de forma más dispersa y tienden a extenderse hacia el interior.

Aunque esta información también está disponible en el mapa interactivo desarrollado con Shiny y Leaflet, esta gráfica resulta útil como un resumen más limpio y directo de la localización de los riesgos, sin necesidad de activar o desactivar capas ni explorar el visor. Es, por tanto, un complemento visual que refuerza y sintetiza la interpretación espacial de los datos.

3. Gráfica 3: Solapamiento entre zonas de diferentes escenarios (Refuerzo gráfica 1)



Esta gráfica actúa como un refuerzo visual de la primera que hemos presentado, en la que se mostraba el número de zonas con riesgo de inundación según el periodo de retorno (10, 100 y

500 años). En este caso, hemos querido profundizar un poco más analizando cuánto se solapan entre sí las zonas de riesgo que pertenecen a distintos escenarios.

En el eje X se muestran las combinaciones de escenarios comparados por pares: T10-T100, T100-T500 y T10-T500. En el eje Y se representa el porcentaje de solapamiento, es decir, la proporción de zonas que están presentes en ambos escenarios comparados.

Los colores utilizados en las barras corresponden a los que hemos venido usando en las gráficas anteriores para mantener la coherencia visual: rojo para T10, naranja para T100 y amarillo para T500.

Gracias a esta gráfica podemos observar, por ejemplo, que el mayor grado de solapamiento se da entre los escenarios de 100 y 500 años (85%), lo que indica que muchas zonas consideradas en riesgo a 100 años también lo están en un horizonte de 500. En cambio, la combinación T10-T500 muestra el menor solapamiento (70%), lo que sugiere que algunas zonas de riesgo más inmediato no se incluyen en los escenarios de retorno más largo, y viceversa.

En resumen, esta gráfica nos ayuda a cuantificar la relación entre los distintos escenarios de riesgo, y sirve como un apoyo clave para interpretar mejor la evolución y expansión de las zonas potencialmente inundables a lo largo del tiempo.

2.5. Diseño del mapa e interactividad

En nuestro proyecto hemos diseñado un mapa interactivo que nos permite analizar detalladamente el riesgo de futuras inundaciones similares a las DANA (depresiones aisladas en niveles altos) a lo largo de horizontes temporales de 10, 100 y 500 años. Para ello, hemos integrado una serie de elementos clave que enriquecen tanto la funcionalidad como la experiencia de usuario.

En primer lugar, hemos incorporado capas temáticas que representan distintos escenarios de riesgo de inundación. Estas capas muestran las áreas potencialmente afectadas según tres períodos de retorno:

- Un escenario de riesgo a corto plazo, con una probabilidad de ocurrencia cada 10 años (representado en color rojo).
- Un escenario intermedio, con un período de retorno de 100 años (en color naranja).
- Un escenario a largo plazo, con un período de retorno de 500 años (en color amarillo).

Estas capas se pueden activar o desactivar a través de un sistema de casillas de verificación ubicadas en el panel lateral izquierdo del mapa. Gracias a esta funcionalidad, nosotros podemos seleccionar qué escenarios queremos visualizar en cada momento, lo cual resulta sumamente útil para comparar la evolución del riesgo bajo diferentes perspectivas temporales. Esta capacidad de selección dinámica nos brinda flexibilidad y mejora significativamente el análisis espacial.

Como cartografía base, hemos optado por utilizar OpenStreetMap. Esta base nos ofrece un fondo cartográfico claro y detallado, que incluye nombres de ciudades, límites

administrativos, redes de transporte, cursos de agua y otros elementos geográficos de referencia. Al superponer nuestras capas de riesgo sobre esta base, logramos ubicar con precisión las zonas afectadas y entender mejor su relación con áreas urbanas, rurales e infraestructuras críticas.

Respecto a la interactividad, el mapa dispone de herramientas básicas pero fundamentales: los botones de zoom (+ y -) situados en la parte superior izquierda permiten que nosotros podamos acercarnos para observar detalles específicos de una zona o alejarnos para tener una visión más general de toda la región. Asimismo, la funcionalidad de arrastre (dragging) nos facilita movernos libremente por el mapa para explorar distintas áreas de interés sin restricciones.

Para asegurar una correcta interpretación de los datos visualizados, hemos incluido una leyenda explicativa que se encuentra en el panel lateral. Esta leyenda nos ayuda a identificar qué color corresponde a cada escenario temporal, evitando confusiones y permitiendo una lectura precisa de la información.

Finalmente, todo el entorno interactivo ha sido desarrollado utilizando Leaflet, la librería especializada en mapas interactivos. Esto nos garantiza una experiencia de usuario fluida y responsiva, haciendo posible que podamos explorar los datos de forma autónoma, seleccionar diferentes combinaciones de capas y realizar un análisis espacial adaptado a nuestras necesidades específicas.

En resumen, el diseño del mapa combina de manera efectiva capas temáticas, una cartografía base informativa, controles de navegación, leyenda y opciones de selección, creando así una herramienta visual potente e interactiva. Este mapa no solo nos permite visualizar los riesgos de inundación presentes y futuros, sino que también nos brinda una plataforma flexible para explorar escenarios, comparar resultados y tomar decisiones informadas en el contexto del análisis de riesgos.

2.6. Diseño del cuadro de mandos

A través de la librería Shiny de R, hemos diseñado una aplicación web que conecta una interfaz de usuario (parte visual con la que interactúa todo aquel que haga uso de la aplicación) con un servidor (parte lógica que responde a las peticiones del usuario).

En particular, nuestra interfaz con el usuario se constituye con el comando `fluidPage()` que organiza los elementos en función del tamaño de la pantalla del usuario. En su interior, encontramos funciones como `sidebarLayout()`, `sidebarPanel()` o `titlePanel()` que distribuyen la localización de los elementos en la pantalla del usuario (títulos, paneles, etc). Uno de los detalles más importantes es la implementación del `checkboxGroupInput()` para poder seleccionar las capas que el usuario quiera visualizar en dicho momento. También hemos conseguido con `verbatimTextOutput()` mostrar las coordenadas al hacer clic en el mapa.

Por otro lado, hemos definido también el servidor, encargado de crear el mapa base. Cada vez que el usuario selecciona o deselecciona capas, dentro del comando `observe()` utilizamos `clearShapes()` para borrar los elementos anteriores del mapa. Y con `observeEvent()`, hacemos que la lógica muestre la información respecto al punto clicado por el usuario.

Respecto a la librería Leaflet, herramienta con la cual creamos el mapa interactivo, hemos añadido el fondo del mapa, ajustado las coordenadas iniciales en el centro de España para evitar tener que ampliar desde el `mapamundi` completo (con `setView()`), ajustamos la posición del mapa en la pantalla con `leafletOutput()`, y añadimos los polígonos mediante la función

`addPolygons()` ajustando una serie de parámetros que conforman el color, los objetos o los cuadros de texto que se asoman al pulsar sobre un punto específico del mapa.

También hemos publicado nuestro proyecto en la Shiny App, se puede encontrar en el siguiente enlace: https://urcafa.shinyapps.io/riesgo_10_100_500/

2.7. Implementación

En esta sección detallamos la implementación que hemos realizado en R para construir un visor interactivo que analiza el riesgo de futuras inundaciones similares a las DANA (depresiones aisladas en niveles altos) a lo largo de horizontes temporales de 10, 100 y 500 años en la Comunidad Valenciana, España. Este visor tiene como objetivo facilitar la visualización espacial y el análisis de escenarios de riesgo hidrológico, considerando cómo este riesgo puede evolucionar en función de los diferentes periodos de retorno.

Para desarrollar la aplicación, trabajamos con el framework Shiny, que nos permitió crear una interfaz web interactiva y accesible. Comenzamos cargando las librerías principales: shiny para construir la aplicación web, sf para la gestión de datos espaciales, leaflet para la visualización cartográfica interactiva, y dplyr para el procesamiento y manipulación de datos.

Definimos los estilos visuales de las capas utilizando una codificación cromática clara y diferenciada:

- Riesgo de inundación con periodo de retorno de 10 años → color rojo.
- Riesgo de inundación con periodo de retorno de 100 años → color naranja.
- Riesgo de inundación con periodo de retorno de 500 años → color amarillo.

Estas definiciones incluyen tanto colores de borde como colores de relleno más suaves para los buffers, lo que nos permitió representar visualmente las áreas de influencia de manera intuitiva.

Posteriormente, cargamos los datos desde archivos CSV, que contenían las coordenadas y atributos descriptivos de las zonas de riesgo, así como los archivos geopackage (.gpkg) con la geometría espacial de las áreas de inundación. Transformamos todas las geometrías al sistema de referencia espacial WGS84 para garantizar compatibilidad con el entorno de Leaflet y asegurar una representación cartográfica precisa. También cargamos las capas de buffers, generadas previamente, que representan áreas ampliadas alrededor de las zonas de inundación, ayudándonos a visualizar los posibles efectos colaterales en áreas cercanas.

Integramos los datos al combinar los atributos cargados desde los CSV con las geometrías espaciales, utilizando estructuras sf. Esta integración fue fundamental para poder mostrar, en los popups informativos del mapa, detalles relevantes como el nombre de la zona, longitud y latitud.

En el diseño de la interfaz de usuario, construimos un `titlePanel` con un título claro: “Análisis del riesgo de futuras inundaciones similares a la DANA a lo largo de 10, 100 y 500 años”, que contextualiza el propósito del visor. En el sidebar `Panel`, configuramos casillas de selección que permiten al usuario decidir qué capas visualizar según su interés: corto plazo (10 años), medio plazo (100 años) o largo plazo (500 años). También incorporamos una leyenda explicativa que detalla el significado de los colores asignados a cada escenario, ayudando a interpretar correctamente el mapa.

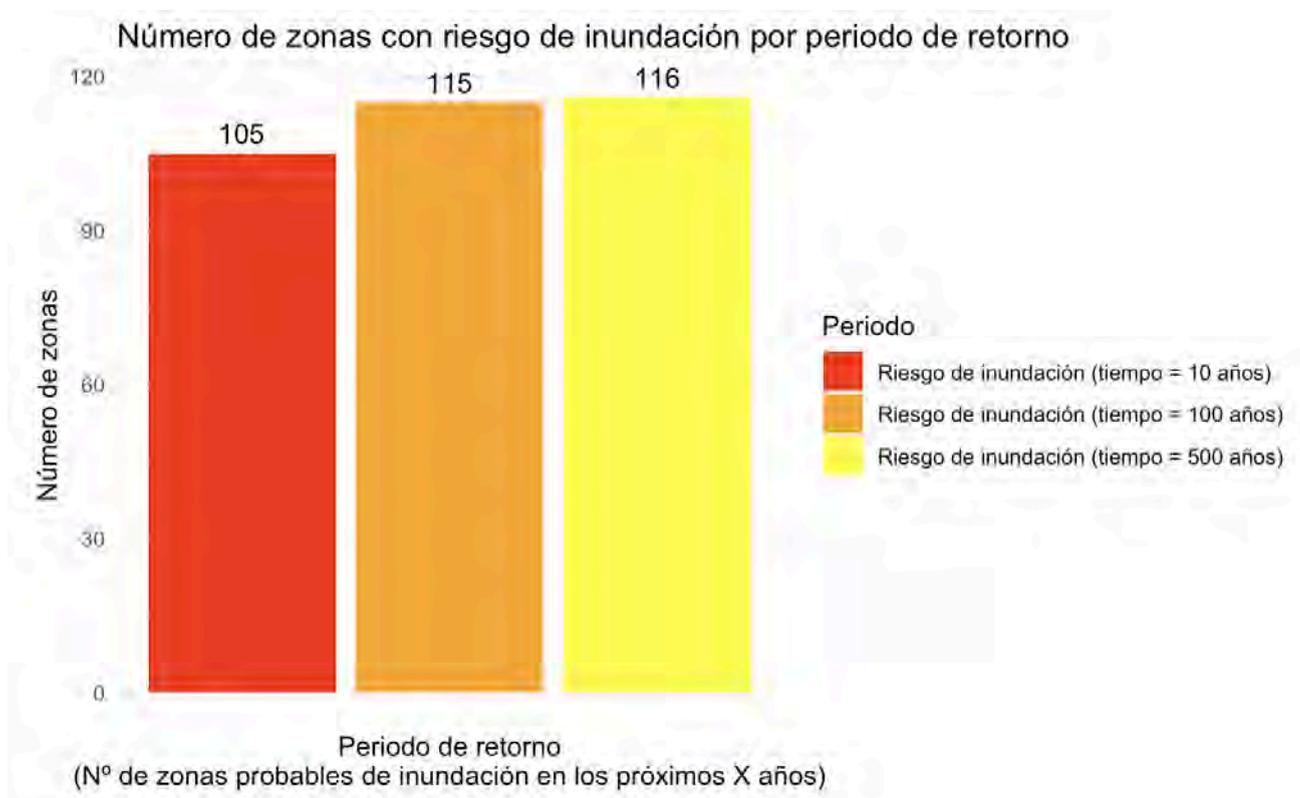
En el mainPanel, implementamos un mapa Leaflet interactivo con altura ajustada a 700 px para una visualización amplia, junto con un área de salida de texto donde mostramos dinámicamente las coordenadas clicadas por el usuario en el mapa.

En el servidor de la aplicación, configuramos el mapa inicial centrado sobre España, con una vista general que permite rápidamente ubicar la Comunidad Valenciana. A través de un bloque observe, definimos la lógica para actualizar las capas visibles en el mapa conforme a la selección del usuario, añadiendo los buffers con opacidad baja (30%) y las capas principales con color sólido, popups y etiquetas informativas. Los popups generados para cada zona muestran datos concretos: el nombre del lugar, la longitud y la latitud de su centroide. Finalmente, un bloque detecta los clics del usuario sobre el mapa y muestra las coordenadas precisas en pantalla, proporcionando una capa adicional de interactividad.

En resumen, hemos implementado una aplicación interactiva en R utilizando Shiny y Leaflet que nos permite visualizar, explorar y analizar los riesgos de inundación asociados a eventos DANA en tres horizontes temporales: 10, 100 y 500 años. Este desarrollo combina datos espaciales detallados, una interfaz web amigable y elementos interactivos que permiten al usuario comprender de forma intuitiva la magnitud y distribución del riesgo de inundaciones en la región, facilitando así el análisis de escenarios, la comparación de resultados y la toma de decisiones fundamentadas.

3. Resultados

Gráfica 1: Número de zonas con riesgo de inundación por periodo de retorno.

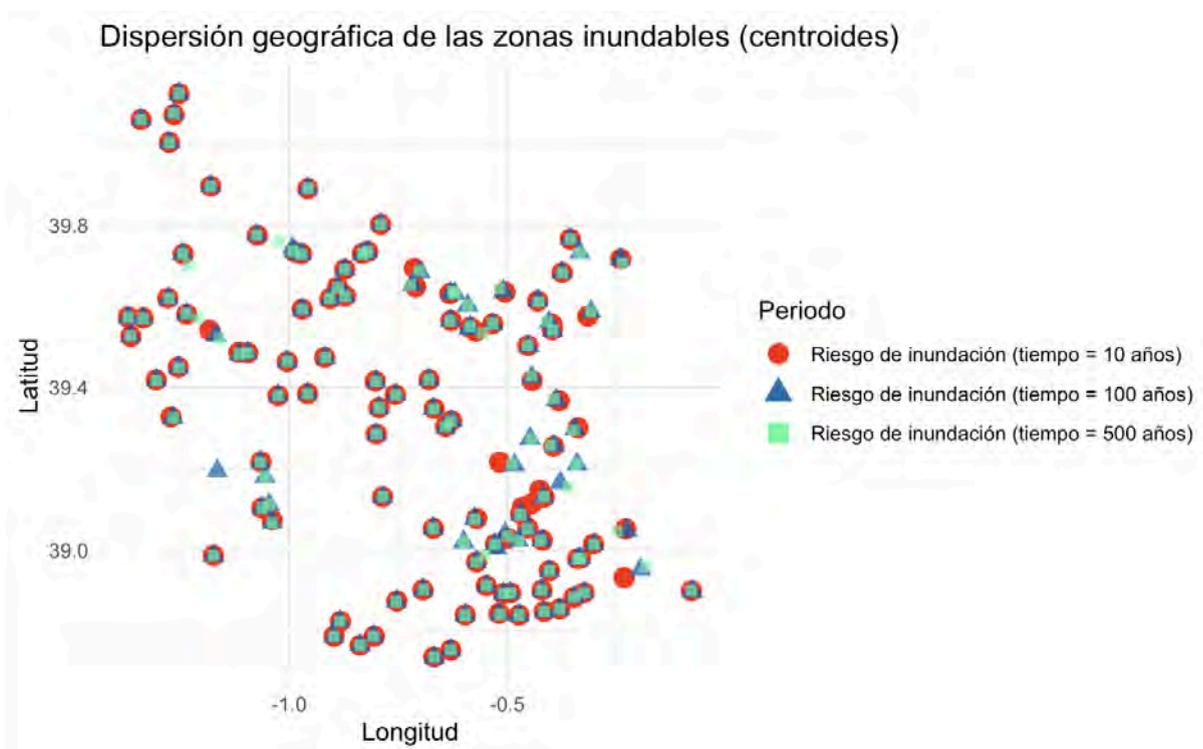


La gráfica refleja que, incluso en el escenario más frecuente (riesgo de inundación cada 10 años), ya hay 105 zonas identificadas como vulnerables. Esta cifra aumenta

ligeramente en los periodos de retorno de 100 y 500 años, con 115 y 116 zonas respectivamente. Esto sugiere que una parte significativa del territorio afectado por posibles inundaciones forma parte del riesgo en todos los escenarios, siendo algunas zonas especialmente recurrentes en estos eventos.

El incremento progresivo del número de zonas a medida que aumenta el periodo de retorno es esperable, ya que los modelos de predicción amplían el área potencialmente afectada en escenarios más extremos. No obstante, el hecho de que la diferencia entre los tres valores sea reducida puede interpretarse como una señal de que los principales núcleos en riesgo se mantienen constantes independientemente de la magnitud del evento, lo cual es clave a la hora de definir prioridades en la planificación del territorio y la gestión del riesgo.

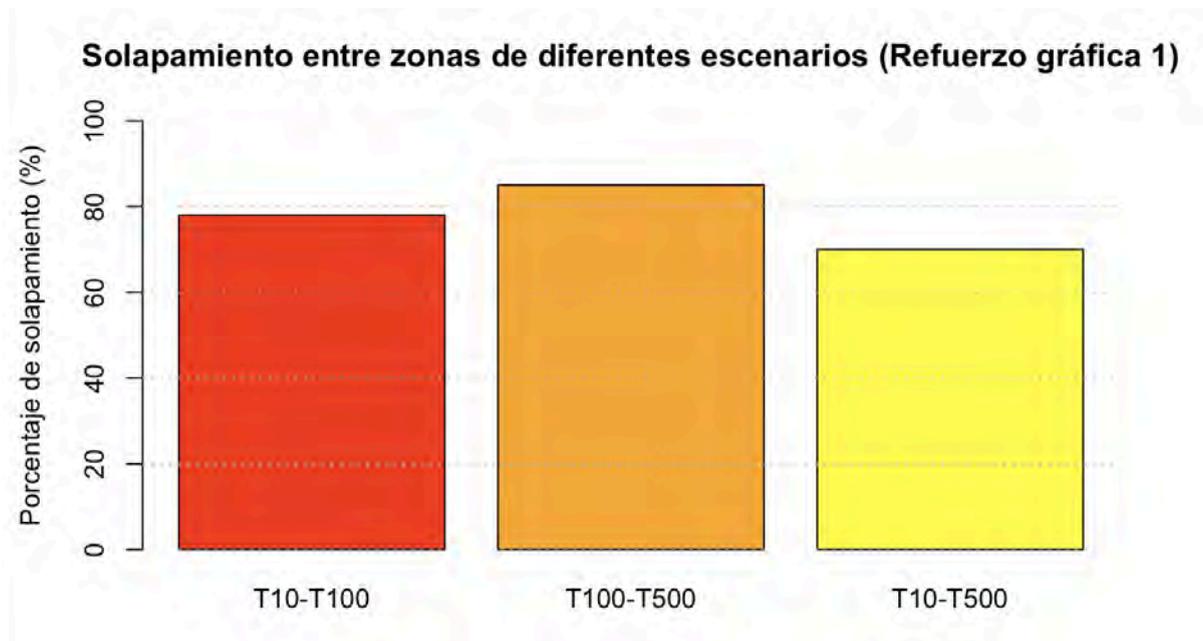
Gráfica 2: Dispersión geográfica de las zonas inundables (centroides)



En la gráfica podemos observar que las zonas con riesgo de inundación, independientemente del periodo de retorno, tienden a concentrarse en ciertas áreas geográficas. En concreto, es posible ver una mayor concentración en coordenadas que, al compararse con el mapa interactivo desarrollado en Shiny, corresponden a zonas próximas a la costa y a cauces fluviales principales, como el del río Turia o el Júcar. Esto refuerza la idea de que estas áreas bajas y cercanas al mar presentan una mayor vulnerabilidad ante fenómenos de inundación.

Esta gráfica resulta útil para tener una visión espacial general de cómo se distribuye el riesgo de inundación, y refuerza la necesidad de actuar sobre ciertas zonas concretas que se mantienen en riesgo incluso en escenarios de retorno más alejados en el tiempo.

Gráfica 3: Solapamiento entre zonas de diferentes escenarios (Refuerzo gráfica 1)

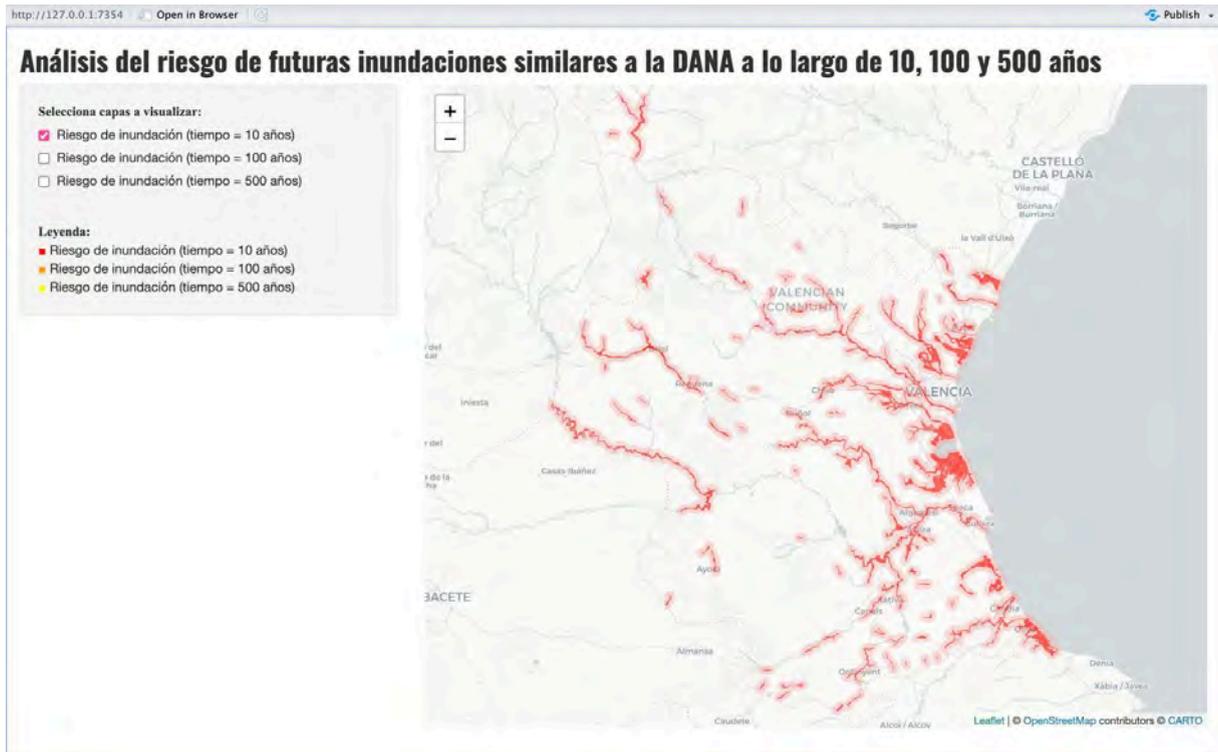


Gracias a esta gráfica podemos observar, por ejemplo, que el mayor grado de solapamiento se da entre los escenarios de 100 y 500 años (85%), lo que indica que muchas zonas consideradas en riesgo a 100 años también lo están en un horizonte de 500. En cambio, la combinación T10-T500 muestra el menor solapamiento (70%), lo que sugiere que algunas zonas de riesgo más inmediato no se incluyen en los escenarios de retorno más largo, y viceversa.

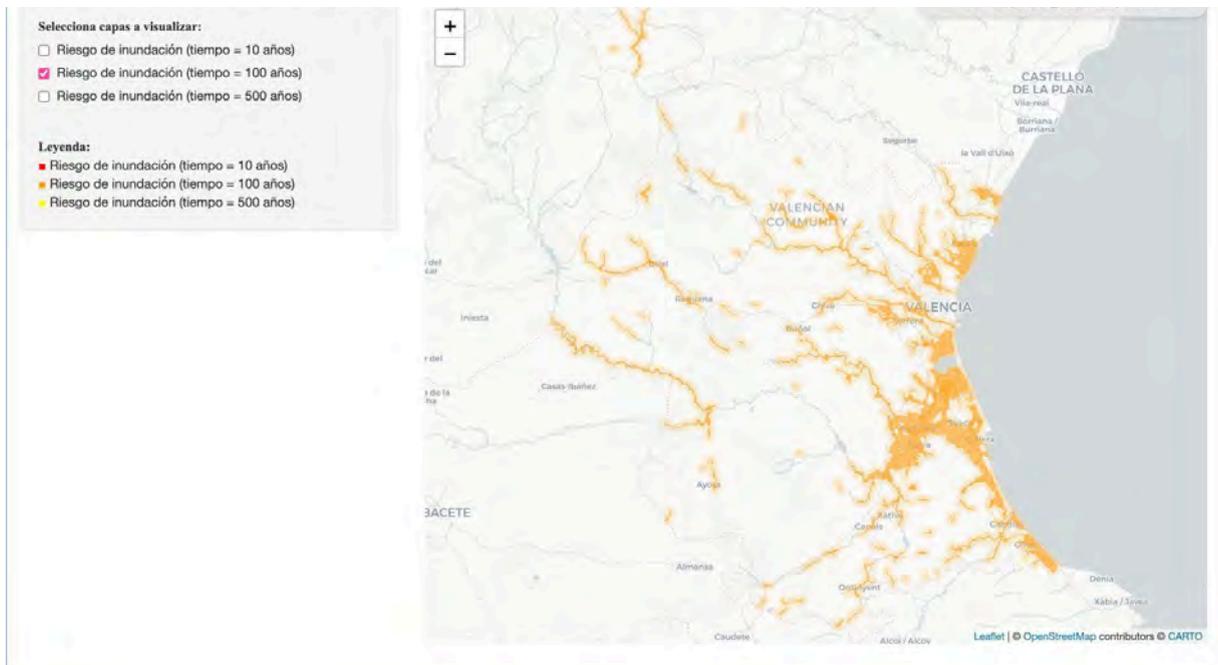
En resumen, esta gráfica nos ayuda a cuantificar la relación entre los distintos escenarios de riesgo, y sirve como un apoyo clave para interpretar mejor la evolución y expansión de las zonas potencialmente inundables a lo largo del tiempo.

Ahora vamos a presentar una serie de capturas del visor interactivo que hemos desarrollado. Este visor, implementado con Shiny y Leaflet, permite explorar de forma dinámica las zonas en riesgo de inundación en la provincia de Valencia para distintos horizontes temporales: 10, 100 y 500 años. Las capas se pueden activar o desactivar según el interés del usuario, y cada una está representada con un color diferente: rojo para el riesgo a 10 años, naranja para 100 y amarillo para 500.

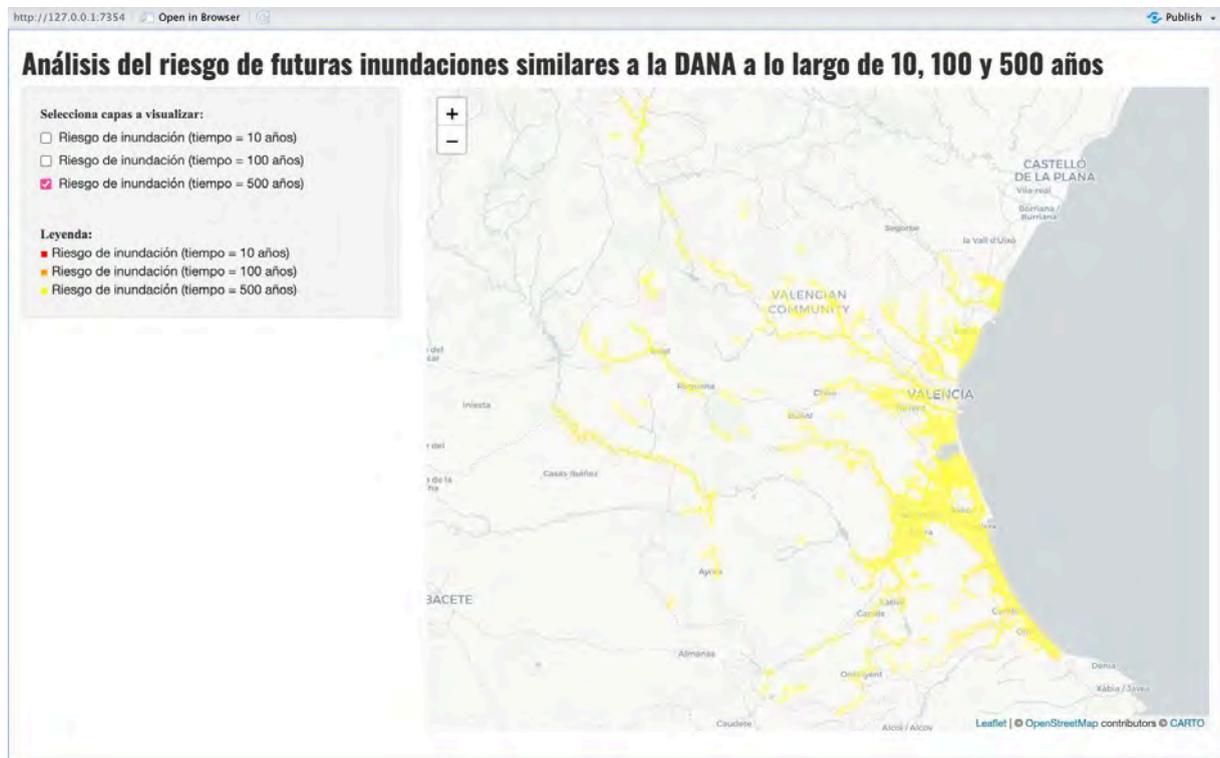
En esta primera imagen se muestra el visor interactivo con activada únicamente la capa de riesgo a 10 años (color rojo). Se observa que el riesgo más inmediato se concentra especialmente en zonas cercanas a la costa y cauces fluviales, como el Turia o el Júcar:



Al activar el escenario de 100 años (color naranja), se amplía el número de zonas afectadas. Muchas de las zonas del escenario de 10 años también están presentes aquí, lo que indica una continuidad del riesgo en el tiempo:



En el escenario más extremo, a 500 años (color amarillo), el área en riesgo se extiende aún más hacia el interior, afectando a zonas no contempladas en los escenarios más frecuentes. Esto refleja la expansión del riesgo en eventos muy poco probables pero de gran magnitud:



4. Discusión

Los resultados obtenidos a lo largo de este proyecto permiten interpretar con claridad el riesgo espacial de inundación en la provincia de Valencia, en escenarios de 10, 100 y 500 años. En línea con los objetivos planteados en la introducción, se han identificado zonas de riesgo persistente, mayoritariamente ubicadas en el litoral y próximas a cauces fluviales. Esta distribución es coherente con lo señalado en la literatura existente, que subraya la vulnerabilidad estructural de ciertas áreas debido a factores como la urbanización descontrolada o la geomorfología del terreno.

El uso de cartografía oficial ha permitido cumplir con el objetivo de sistematizar la información disponible sobre peligrosidad por inundaciones, y el visor interactivo desarrollado ha facilitado una visualización clara de las zonas afectadas, lo que supone una herramienta valiosa para la sensibilización y la planificación territorial preventiva. Sin embargo, el proyecto también ha puesto de manifiesto algunas limitaciones técnicas que condicionaron su alcance.

Una de las principales dificultades fue la imposibilidad de acceder a datos sobre las zonas efectivamente inundadas durante la DANA del 29 de octubre de 2024, lo que impidió realizar una comparación entre el riesgo teórico y los daños reales. Esto llevó a modificar el planteamiento inicial del proyecto. Además, se encontraron obstáculos al trabajar con determinados formatos de datos geoespaciales, especialmente en la conversión a formatos compatibles con R, así como errores

técnicos en Shiny —como los relacionados con la librería terra— y problemas de carga derivados del tamaño del proyecto.

Pese a estas dificultades, el trabajo ha permitido afianzar conocimientos técnicos clave en visualización de datos espaciales. El uso de Shiny y Leaflet, aunque desafiante al principio, se ha revelado como accesible e intuitivo, ofreciendo un gran potencial para proyectos de análisis territorial.

En cuanto a posibles líneas futuras, aunque este trabajo no continuará, una ampliación interesante podría consistir en incorporar otras variables —como usos del suelo o modelos climáticos proyectados— o en replicar la metodología en otras zonas vulnerables del Mediterráneo español.

En conjunto, este proyecto pone en valor la utilidad de las herramientas de análisis geoespacial aplicadas al riesgo hidrológico, y contribuye modestamente a la reflexión sobre cómo mejorar la visualización y comprensión de estos fenómenos en contextos académicos y técnicos.

5. Conclusiones

A lo largo de este miniproyecto hemos realizado un análisis espacial detallado del riesgo de inundación en la provincia de Valencia, tomando como caso de referencia la DANA ocurrida el 29 de octubre de 2024. A través del uso de cartografía oficial para periodos de retorno de 10, 100 y 500 años, y mediante herramientas como QGIS, R y Leaflet, hemos representado de forma clara e interactiva la distribución y persistencia del riesgo hidrológico.

Entre los principales hallazgos, destaca la existencia de numerosas zonas que presentan riesgo en todos los escenarios temporales, lo que revela una exposición estructural y reiterada a las inundaciones. Estas zonas se concentran especialmente en áreas litorales y cauces fluviales, señalando la necesidad de priorizar estos núcleos en la planificación y gestión del territorio. Además, se ha observado que, conforme aumenta el horizonte temporal (de 10 a 100 y 500 años), la superficie total en riesgo también se incrementa. Este comportamiento es esperable desde el punto de vista estadístico, ya que los eventos más extremos tienen un área de afectación más amplia. A su vez, las zonas que ya están en riesgo a 10 años tienden a mantenerse en los escenarios de mayor plazo, lo que refuerza la idea de una vulnerabilidad persistente.

Los objetivos planteados inicialmente se han cumplido: se ha recopilado y procesado información cartográfica oficial, se han identificado patrones espaciales de riesgo persistente y se ha desarrollado un visor interactivo que permite explorar los escenarios de forma dinámica. Esta herramienta facilita la comprensión del riesgo y puede ser utilizada por entidades públicas, personal técnico o la ciudadanía para apoyar la toma de decisiones fundamentadas.

Desde un punto de vista práctico, los resultados obtenidos refuerzan la necesidad de revisar y actualizar los mapas de riesgo con mayor frecuencia, integrando variables como el cambio climático o el crecimiento urbano. Desde el punto de vista científico, el proyecto muestra el potencial de las técnicas de visualización interactiva como recurso para el análisis geoespacial y la comunicación del riesgo.

En definitiva, este trabajo no solo ofrece una visión actualizada del riesgo de inundación en la Comunidad Valenciana, sino que también demuestra cómo el uso de datos abiertos, herramientas interactivas y análisis territorial puede contribuir de forma eficaz a la prevención y adaptación frente a futuros fenómenos extremos.

6. Referencias

1. 20minutos. (2023, septiembre 4). *¿Gota fría o DANA? El Mediterráneo, demasiado caliente: la explicación científica de la catástrofe de la Comunidad Valenciana*. (Gráfico elaborado por Henar de Pedro, fuente: AEMET y agencias)
<https://www.20minutos.es/noticia/5649474/0/gota-fria-dana-el-mediterraneo-demasiado-caliente-la-explicacion-cientifica-de-la-catastrofe-de-la-comunidad-valenciana/>
2. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. (s. f.). Acceso rápido a datos de agua. Gobierno de España.
<https://www.miteco.gob.es/es/agua/servicios/acceso-rapido-datos-agua.html>
3. Wikipedia. (2024, abril 30). *DANA*. Wikipedia, La enciclopedia libre. (Fecha de última actualización consultada: 30 de abril de 2024)
<https://es.wikipedia.org/wiki/Dana>
4. Portalés, Cristina. (s.f.). *Visualización de datos espaciales. Tema 4.2: Geometría de los mapas* [Material de clase]. Universitat de València.
<https://www.uv.es>
5. Portalés, Cristina. (s.f.). *Visualización de datos espaciales. Tema 4.3: Sistemas de Información Geográfica (SIG)* [Material de clase]. Universitat de València.
<https://www.uv.es>
6. Portalés, Cristina. (s.f.). *Visualización de datos espaciales. Tema 4.5: Mapas en R* [Material de clase]. Universitat de València.
<https://www.uv.es>
7. Mateo Jiménez, Fernando. (s.f.). *Visualización interactiva de datos. Tema 5.1: Shiny* [Material de clase]. Universitat de València.
<https://www.uv.es>
8. DataCamp. (s.f.). *Building web applications with Shiny in R* [Curso en línea].
<https://app.datacamp.com/learn/courses/building-web-applications-with-shiny-in-r>