

5. Aplicación para el análisis de valores extremos en el contexto espacial

5.1. Introducción

La informática, nacida históricamente del seno de las matemáticas, ha evolucionado como una disciplina esencial para la resolución de problemas complejos que exceden las capacidades del análisis teórico clásico. Esta relación intrínseca entre ambas áreas no solo se refleja en su origen común, sino también en la forma en que la informática se ha convertido en una herramienta indispensable en numerosos desarrollos matemáticos modernos.

A lo largo de esta memoria, dicha conexión ha estado presente de manera constante: cada representación gráfica o procedimiento estadístico presentado ha requerido del soporte informático para su implementación, simulación o visualización. En particular, la segunda parte del trabajo culmina con la presentación de una metodología para la estimación de riesgo en campos aleatorios, cuya naturaleza matemática impide una resolución analítica exacta. Por ello, se hace imprescindible recurrir a métodos computacionales que permitan aproximar y aplicar dichas técnicas en contextos reales.

En este contexto surge la aplicación desarrollada en R mediante el framework Shiny, con el objetivo de materializar, de forma práctica, los conceptos teóricos trabajados en torno a la medida de riesgo y la estadística espacial. Esta herramienta busca ser útil tanto para investigadores como para profesionales que requieran estimar y visualizar riesgos asociados a fenómenos espaciales, facilitando un análisis riguroso y accesible para distintos perfiles técnicos.

A continuación, se presenta el proceso de desarrollo de la aplicación web siguiendo las fases clásicas del ciclo de vida del software. En primer lugar, se describe y analiza el conjunto de requisitos que debe cumplir la herramienta. Posteriormente, se detalla el diseño adoptado, tanto desde la perspectiva de la interfaz de usuario como desde el punto de vista funcional. En la siguiente sección, se aborda la implementación, explicando las decisiones técnicas adoptadas y las tecnologías empleadas. Finalmente, se incluye un manual de uso con el fin de garantizar una experiencia de usuario clara y eficaz, permitiendo a cualquier persona utilizar la aplicación con solvencia.

5.2. Análisis y especificación de requisitos

Esta sección aborda el análisis y la especificación detallada de los requisitos del sistema, incluyendo los relativos a la gestión de datos, el flujo de información, las necesidades de almacenamiento y los requisitos tanto funcionales como no funcionales. Tanto para esta como las siguientes secciones, ha servido de apoyo la referencia [Hos23].

1. Requisitos de datos:

- Los datos de entrada incluyen los parámetros del modelo espacial: tipo de modelo, regularidad del campo, grado de correlación, varianza y escala. También se requiere configurar el dominio espacial (dimensiones del campo) y los parámetros metodológicos: número de realizaciones, umbral de riesgo, nivel de confianza, tamaño de las ventanas deslizantes y solapamiento entre ellas.
- (Opcional) Carga de un fichero en formato CSV que contenga datos simulados previamente, preparados para aplicar la metodología. Estos datos deben estar estructurados en formato tabla, donde cada fila representa una coordenada (total de filas igual a ancho \times alto del dominio), y cada columna corresponde a una realización distinta.
- (Opcional) Carga de un fichero en formato CSV con datos para realizar simulación condicionada. Estos datos deben organizarse en una tabla con tres columnas: coordenada x , coordenada y y valor del dato observado en dicha ubicación. El número de filas será igual al número de puntos condicionantes.
- Se exige integridad en los datos proporcionados por el usuario, mediante validaciones que verifiquen su validez numérica y la coherencia espacial de las dimensiones ingresadas.

2. Requisitos de información:

- El sistema debe mostrar visualizaciones claras de la primera realización del campo simulado, así como de los mapas de varianza generados a partir de dichas simulaciones.
- Debe presentarse una visualización del conjunto de excursión de la primera realización, calculado a partir del umbral de riesgo especificado por el usuario.
- Se deben mostrar los mapas de riesgo generados mediante la metodología propuesta, correspondientes a las distintas medidas de riesgo utilizadas.
- El usuario debe tener la opción de visualizar los resultados en dos o tres dimensiones, de acuerdo con sus preferencias o necesidades.
- En el caso de simulaciones espacio-temporales, el sistema debe permitir al usuario seleccionar el instante temporal específico que desea visualizar.

- El usuario debe tener la oportunidad de obtener un resumen breve ciertos datos relevantes obtenidos en la simulación y metodología.

3. Requisitos de almacenamiento:

- La aplicación debe ser capaz de almacenar temporalmente los resultados de las simulaciones y los parámetros de entrada en la sesión del usuario.
- Se debe almacenar los resultados intermedios correspondientes a la metodología de trabajo a demás de diferentes matrices de datos usadas para la posterior visualización.
- No se requiere almacenamiento persistente en servidor.
- La memoria debe ser gestionada eficientemente para permitir complejas simulaciones sin ralentizar el sistema.

4. Requisitos funcionales:

- El sistema debe permitir al usuario seleccionar parámetros de simulación y ejecutar modelos espaciales y espacio-temporales (condicionados y no condicionados).
- Debe calcular medidas de riesgo como VaR y ES en ventanas deslizantes.
- Debe permitir la visualización interactiva de los resultados (mapas, puntos condicionantes y distintos tipos de visualización).
- Debe gestionar el flujo entre diferentes modos de simulación (simulación libre y condicionada).
- Debe permitir la importación de datos ya simulados para su análisis y aplicación de la metodología (mediante archivos en formato CSV).
- El sistema debe validar la integridad de los datos de entrada (tanto por entrada de texto como mediante archivos CSV).
- Se debe permitir acceder a la documentación de la aplicación.

5. Requisitos no funcionales:

- La aplicación debe tener una interfaz intuitiva, responsive y clara que permita su uso por cualquier tipo de usuarios con conocimientos básicos en estadística y con diseño adaptativo para distintos tamaños de pantalla
- Debe ser accesible desde navegadores web.
- El código debe ser modular y actualizable, facilitando la incorporación de nuevos modelos o funciones estadísticas.
- La aplicación debe poder ser ejecutable en cualquier sistema que contenga R y Shiny instalados.
- La aplicación debe ser robusta frente a entradas erróneas, mostrando mensajes de error adecuados sin fallos críticos.

5.3. Diseño de la aplicación

5.3.1. Arquitectura general

La aplicación se organiza en dos componentes fundamentales:

- **Interfaz de usuario (UI):** se encarga de presentar al usuario la disposición visual de la aplicación, incluyendo la navegación y los elementos con los que puede interactuar.
- **Servidor (server):** gestiona la lógica interna, procesando los datos y generando las salidas que se muestran en la interfaz.

5.3.2. Diseño de la interfaz de Usuario

La interfaz gráfica de la aplicación se encuentra estructurada de la siguiente forma:

1. **Cabecera:** ocupa el 100 % del ancho de la pantalla y muestra el nombre de la aplicación.
2. **Barra deslizante lateral izquierda:** establece la posibilidad de minimizarse al lateral izquierdo y dar más visibilidad. Contiene los elementos de entrada de datos, entre ellos:
 - Diferentes inputs numéricos para el establecimiento de los parámetros.
 - Dos inputs de selección, para seleccionar el modelo y el modo de simulación.
 - Dos botones, uno que ejecuta la simulación de campos y otro que lanza una ventana modal que permite introducir datos ya simulados
3. **Panel principal:** se trata de un panel de navegación con pestañas que permite la visualización de las diferentes salidas obtenidas. Consta de cinco pestañas diferentes:
 - *Primera simulación:* muestra la visualización de la primera realización de los datos simulados, ya sean por la aplicación o adjuntados.
 - *Conjunto de excursión:* muestra la visualización del conjunto de excursión de la primera realización de los datos tras aplicarle el umbral de riesgo establecido por el usuario.
 - *Mapa de varianza:* muestra un mapa con la varianza asociada a cada punto en las diferentes realizaciones del campo.
 - *Mapas de riesgo:* muestra el mapa de riesgo obtenido mediante la metodología computacional. Contiene un desplegable que permite seleccionar la medida de riesgo aplicada (VaR histórico, VaR paramétrico, VaR Montecarlo y Expected Short-fall).
 - *Resumen:* contiene una salida de texto que muestra información relativa al campo como el valor mínimo y máximo global, el valor máximo de la realización mostrada y el valor del primer umbral de riesgo. Además, muestra un mensaje de ayuda a la comprensión del usuario de las visualizaciones mostradas.

Todas las pestañas, a excepción del resumen, contienen un selector que permite cambiar el tipo de visualización, de dos o tres dimensiones. Además, para simulaciones espacio-temporales se muestra otro selector que permite escoger el instante temporal a mostrar.

4. **Pie de página:** proporciona información sobre el autor de la aplicación y un enlace para la descarga de la documentación de la misma.
5. **Ventanas modales:** ventanas que se muestran cuando el usuario debe adjuntar un archivo CSV con datos, ya sea para realizar la simulación condicionada o con los propios datos simulados.

5.3.3. Diseño del flujo de datos y procesos

El flujo de funcionamiento general de la aplicación se organiza de acuerdo con la siguiente secuencia lógica:

1. (Opcional) **Uso de datos condicionados:** el usuario puede introducir datos propios sobre los que quiera realizar simulación condicionada o que haya usado previamente al realizar una simulación condicionada externa.
2. **Obtención de datos simulados:** el usuario puede llevar a cabo la simulación de datos a través de la aplicación mediante la selección del modelo y los parámetros que requiera o cargar los datos ya simulados previamente, estableciendo igualmente las características de los datos simulados. Al mismo tiempo establece las condiciones deseadas para la metodología (umbral de riesgo, nivel de confianza, tamaño de ventanas deslizantes y solapamiento).
3. **Primera realización, conjunto de excursión y mapa de varianza:** se muestra por pantalla la primera realización de entre todas las simuladas. Se obtiene el mapa de varianza asociado a la variabilidad de los datos entre las diferentes realizaciones. Se muestra el mapa de varianza. Se obtiene el valor del umbral de riesgo asociado al percentil escogido por el usuario usando todos los valores de los datos simulados. Se usa dicho umbral para obtener el conjunto de excursión asociado a la primera realización y se muestra por pantalla.
4. **Metodología para la obtención de los mapas de riesgo:** se lleva a cabo la metodología mediante el uso de ventanas deslizantes para la obtención de los diferentes mapas de riesgo asociados al nivel de confianza establecido por el usuario. Se visualizan los diferentes mapas de riesgo.
5. (Opcional) **Consulta del manual de usuario:** el usuario puede acceder al manual de usuario a través de un enlace proporcionado en el pie de página, donde se detallan las funcionalidades de la aplicación y cómo utilizarlas de forma adecuada.

5.4. Implementación

Una vez definidos los requisitos que debe cumplir la aplicación y habiendo completado su diseño funcional y visual, se procede a la implementación del código fuente siguiendo las especificaciones planteadas.

Para el desarrollo se ha empleado el lenguaje de programación **R**, junto con el framework **Shiny**, especializado en la creación de aplicaciones web interactivas. La información y recursos utilizados para su desarrollo se han basado en documentación técnica y bibliografía de Shiny [Wic21].

5.4.1. Estructura del código

Para mejorar la organización y facilitar el mantenimiento del proyecto, el código de la aplicación se ha dividido en varios archivos, cada uno con una funcionalidad específica:

- `ui.R`: contiene la definición completa de la interfaz de usuario mediante el uso de funciones como `sidebar()`, `navset_card_underline()` y otros componentes de entrada y visualización.
- `server.R`: define la lógica del servidor, incluyendo la gestión de eventos, lectura, validación y simulación de datos y la gestión y procesamiento de la metodología.
- `procesamiento_simulaciones.R`: encapsula todas las funciones relacionadas con el tratamiento de campos aleatorios espaciales o espacio-temporales (condicionados e incondicionados), así como el cálculo de los mapas de riesgo con VaR y Expected Shortfall en distintas configuraciones.
- `funciones_auxiliares.R`: incluye funciones de apoyo utilizadas en diversas partes de la aplicación, tales como validaciones, transformaciones de datos, manejo de ventanas deslizantes, visualización, entre otras.
- `app.R`: actúa como punto de entrada de la aplicación, cargando los archivos anteriores y ejecutando la función `shinyApp(ui = ui, server = server)` que pone en marcha la aplicación.

5.4.2. Paquetes utilizados

Para el desarrollo e implementación de esta aplicación, a la vez de la simulación de campos y su tratamiento, se ha hecho uso de los siguientes paquetes de R:

- **Interfaz y componentes interactivos:** shiny, bslib.
- **Visualización:** plotly

- **Simulación de campos aleatorios:** RandomFields y RandomFieldsUtils (eliminados del repositorio CRAN en el momento de desarrollo de esta memoria).
- **Lectura y manipulación de datos:** readr, magrittr.

5.4.3. Lectura y validación de datos

Se ha desarrollado un mecanismo de validación y gestión de archivos que garantiza que aquellos subidos por el usuario contengan la estructura esperada. Esto comprende:

- Validación de formato de los archivos (extensiones .csv)
- Comprobación que todos los valores en el archivo son numéricos válidos.
- Verificación del número de filas y columnas correspondientes para archivos de datos ya simulados.
- Comprobación de número de columnas así como de nombre de las mismas en los archivos de datos condicionados.
- Verificación de que las coordenadas de los datos para condicionar se encuentran dentro de las dimensiones del campo.

5.4.4. Implementación de la simulación de campos

La funcionalidad asociada a la simulación de campos, tanto espaciales como espacio-temporales, y tanto condicionados como no condicionados, ha sido implementada mediante el uso de las funciones RFsimulate(), RMnsst(), RMgencauchy(), entre otras, pertenecientes al paquete RandomFields.

Cuando la simulación requiere condicionamiento, se proporciona a la función RFsimulate() una matriz de datos en el formato requerido, que contiene las coordenadas y los valores observados en los puntos condicionantes.

5.4.5. Implementación de la visualización y generación del mapa de varianzas y conjunto de excursión

Las funciones modulo_simulacion() y modulo_simulacion_temporal(), incluidas en el módulo **procesamiento_simulaciones.R**, se encargan de ejecutar la primera parte de la metodología y generar las principales visualizaciones de los resultados.

En primer lugar, se toma la primera realización del conjunto de simulaciones del campo y se muestra por pantalla, distinguiendo entre visualización en dos o tres dimensiones, según la selección del usuario.

A continuación, se emplean todas las simulaciones generadas para calcular el mapa de varianzas del campo, que también se representa gráficamente.

5. Aplicación para el análisis de valores extremos en el contexto espacial

Finalmente, se utiliza el percentil especificado por el usuario para determinar el umbral de riesgo, calculado a partir de todos los valores simulados. A partir de este umbral, se visualiza el conjunto de excusión correspondiente a la primera realización, y se devuelve el valor del umbral calculado.

En el caso de simulaciones espacio-temporales, se sigue el mismo procedimiento, diferenciando los resultados y visualizaciones según el instante temporal seleccionado.

5.4.6. Análisis de riesgo local y metodología mediante ventanas deslizantes

La generación de los mapas de riesgo se lleva a cabo mediante las funciones `modulo_metodologia()` y `modulo_metodologia_temporal()`, ambas incluidas en el módulo `procesamiento_simulaciones.R`. Estas funciones se encargan de construir las estructuras necesarias (matrices y listas) para el almacenamiento intermedio de resultados, así como de generar los mapas de riesgo y sus correspondientes visualizaciones.

El análisis local se realiza a través de la función `procesar_ventanas_deslizantes()`, que constituye el núcleo metodológico de esta etapa. Dicha función aplica un barrido con ventanas deslizantes sobre el dominio espacial (o espacio-temporal), y calcula localmente las medidas de riesgo especificadas, como el Valor en Riesgo (VaR) y el Expected Shortfall (ES), generando así los distintos mapas de riesgo.

En el caso de simulaciones espacio-temporales, se aplica el mismo procedimiento de análisis, diferenciando los resultados y visualizaciones para cada instante temporal seleccionado por el usuario.

5.4.7. Interacción del usuario y control de la visualización

Con el objetivo de hacer la aplicación más accesible e intuitiva, se han implementado dos botones principales: **Simular** y **Adjuntar**. El botón **Simular** permite generar nuevos datos mediante el modelo espacial seleccionado por el usuario, mientras que el botón **Adjuntar** ofrece la posibilidad de cargar datos previamente simulados desde un archivo, lo que permite reducir tiempos de espera y proceder directamente con el análisis de riesgo.

La interfaz incluye un sistema de navegación por pestañas que facilita el acceso a las distintas funcionalidades de la aplicación, tales como la visualización de la primera realización simulada, el mapa de varianza o un resumen con información relevante sobre el campo generado.

En cada pestaña de visualización, el usuario puede seleccionar el tipo de representación gráfica deseada: en dos dimensiones (2D) o en tres dimensiones (3D). La visualización en 3D es interactiva, lo que facilita un análisis más detallado de los resultados. Estas representaciones se generan mediante las funciones `plot_2d()`, `plot_3d()` y `plot_2d_cond()`, siendo esta última utilizada para mostrar los puntos condicionantes en el caso de simulaciones condicionadas.

Para simulaciones espacio-temporales, la aplicación incorpora un desplegable adicional en cada pestaña de visualización, el cual permite al usuario seleccionar el instante temporal que desea analizar. El control de este componente se gestiona mediante una variable reactiva, que permite al sistema identificar el tipo de simulación y mostrar u ocultar dinámicamente los elementos correspondientes según sea necesario.

El flujo interno de la aplicación está controlado mediante el uso de estructuras reactivas como `reactiveVal()`, `observe()` y `observeEvent()`. Estas garantizan que los análisis y visualizaciones se actualicen únicamente cuando los datos han sido correctamente cargados y validados por el sistema. De este modo, se evitan cálculos innecesarios, se mejora la eficiencia del proceso y se reduce la probabilidad de errores derivados de ejecuciones prematuras.

5.4.8. Diseño visual y experiencia del usuario

El diseño visual de la aplicación ha sido desarrollado utilizando las herramientas nativas del framework Shiny, lo que ha permitido construir una interfaz clara, funcional y fácilmente adaptable a distintos dispositivos y tamaños de pantalla. La disposición de los elementos se organiza mediante una barra lateral deslizante para los controles de entrada (inputs) y una zona principal que alberga los resultados y visualizaciones distribuidos en pestañas, lo que favorece una navegación estructurada y fluida.

5.4.9. Gestión de errores y robustez

Para garantizar la robustez, estabilidad y consistencia de la aplicación, se han implementado diversos mecanismos de control y validación de entradas:

- Empleo de la función `req()` para asegurar que los archivos y parámetros necesarios sean proporcionados por el usuario antes de ejecutar cualquier proceso de simulación o análisis, evitando así ejecuciones prematuras o con datos incompletos.
- Utilización de funciones auxiliares específicas, como `validar_parametro_ab_ab()` y `validar_parametro_ab_cer()`, que verifican que los valores ingresados en los inputs se encuentren dentro de los rangos válidos definidos, previniendo valores fuera de dominio que podrían generar resultados incorrectos o fallos.
- Validaciones dinámicas sobre parámetros críticos, tales como el tamaño de las ventanas y el grado de solapamiento, para impedir configuraciones incompatibles o incoherentes que pudieran comprometer la correcta ejecución y resultados de la metodología aplicada.

Estas y otras estrategias implementadas contribuyen a minimizar la probabilidad de errores en la interacción del usuario con la aplicación, asegurando un uso fiable y coherente en distintos escenarios.

5.5. Manual de usuario

En esta sección se presenta un manual de usuario claro y completo que describe detalladamente el funcionamiento de la aplicación y cómo interactuar con ella. Está redactado con el objetivo de que cualquier usuario, incluso sin conocimientos técnicos avanzados, pueda utilizar la herramienta de forma autónoma. No obstante, la correcta interpretación de los resultados gráficos dependerá del interés, la experiencia previa en análisis espacial y del campo de estudio concreto al que se apliquen los datos.

5.5.1. Descripción general de la aplicación

Esta aplicación permite realizar simulaciones de campos espaciales y espacio-temporales, condicionados o no, así como generar mapas de varianza y, principalmente, mapas de riesgo local mediante una metodología basada en ventanas deslizantes. Asimismo, ofrece la posibilidad de cargar datos previamente simulados, en caso de que el usuario desee aplicar directamente la metodología sin necesidad de ejecutar nuevas simulaciones.

No se requieren conocimientos avanzados en matemáticas ni programación para su uso, ya que la interfaz ha sido diseñada para resultar intuitiva y accesible. La visualización de los resultados es clara y está orientada a facilitar el análisis por parte del usuario.

La interpretación de los resultados dependerá del contexto específico de aplicación, del significado de los valores simulados y del conocimiento del fenómeno modelado. Por ello, en aplicaciones reales puede ser recomendable el acompañamiento de un experto en la materia.

5.5.2. Requisitos para el uso de la aplicación

Para utilizar la aplicación correctamente, se requiere:

- Introducir los parámetros de simulación, que incluyen la selección del modelo espacial (por ejemplo, modelo de Cauchy o Gneiting), la configuración del dominio espacial (dimensiones del campo) y los parámetros propios del modelo. Asimismo, deben definirse los parámetros metodológicos, como el tamaño de las ventanas deslizantes y el solapamiento entre ellas.
- (Opcional) Proporcionar un archivo en formato CSV que contenga datos ya simulados. Esto permite omitir el proceso de simulación en la aplicación y pasar directamente al análisis de riesgo.
- (Opcional) Proporcionar un archivo en formato CSV con datos condicionantes, en caso de que se desee realizar una simulación espacial condicionada. Este archivo debe incluir coordenadas y valores observados.
- Un ordenador con conexión a Internet para acceder a la aplicación en línea, o tener instalado R y Shiny para ejecutar la aplicación localmente.

Realización_1	Realización_2	Realización_3
0.51	0.49	0.62
0.87	0.90	0.85
1.22	1.10	1.15
...

Tabla 5.1.: Ejemplo de estructura de archivo CSV con datos simulados

x	y	valor
12	34	0.85
25	40	1.10
75	66	0.92
...

Tabla 5.2.: Ejemplo de archivo CSV con datos condicionados

Los archivos en formato CSV deben respetar las siguientes especificaciones:

- **Datos ya simulados:** La primera fila debe contener los nombres de las columnas (pueden ser arbitrarios, ya que serán ignorados). Cada fila representa una celda del campo espacial, y cada columna corresponde a una realización distinta del campo. El número total de filas debe ser igual al producto del ancho por el alto del dominio.
Dichas filas estarán ordenadas de forma secuencial por filas, es decir, siguiendo el orden en que se llenarían las celdas de una matriz en R. Por ejemplo, si el dominio se establece como $n \times m$, la primera fila del archivo corresponde a la celda $(0, 0)$, la segunda a la celda $(1, 0)$, y así sucesivamente hasta la celda $(n, 0)$; luego continúa con la segunda fila de la matriz original: $(0, 1), (1, 1), \dots, (n, 1)$; y así hasta completar la matriz. Ver Tabla 5.1.
- **Datos condicionados:** El archivo debe contener tres columnas denominadas x , y y $valor$, representando respectivamente las coordenadas horizontales, verticales y el valor observado en esa ubicación. Cada fila representa un punto de datos a utilizar como condición en la simulación. Ver Tabla 5.2.

5.5.3. Ejecución de la aplicación

La aplicación puede ejecutarse de dos formas distintas, dependiendo del entorno en el que el usuario desee trabajar:

- **Ejecución en línea:** El usuario puede acceder a la aplicación a través de un navegador web mediante el enlace proporcionado. Esta opción requiere una conexión estable a Internet.
- **Ejecución local:** Para ejecutar la aplicación en entorno local, es necesario disponer de R y del paquete shiny correctamente instalados. Una vez descargado el archivo app.R, se

5. Aplicación para el análisis de valores extremos en el contexto espacial

debe abrir en RStudio y hacer clic en el botón Run App para iniciar la aplicación desde el entorno de desarrollo.

5.5.4. Estructura de la interfaz de usuario

Una vez iniciada la aplicación, se presenta una interfaz gráfica estructurada de forma clara e intuitiva, diseñada para facilitar la navegación y la interacción con las diferentes funcionalidades. La disposición general se describe a continuación:

- **Cabecera:** En la parte superior se muestra el título de la aplicación, proporcionando una referencia constante al contexto de trabajo.
- **Barra lateral deslizante izquierda:** Situada inmediatamente debajo de la cabecera, contiene los elementos de entrada necesarios para configurar tanto la simulación como la metodología. Incluye:
 - Parámetros de configuración de la simulación: selección del modelo, dimensiones del dominio, número de simulaciones, parámetros específicos del modelo y configuración propia de la metodología (ventanas, solapamiento, etc.).
 - Un desplegable para seleccionar si se desea realizar una simulación condicionada.
 - Botón para ejecutar la simulación junto con la metodología de análisis.
 - Botón alternativo para aplicar la metodología directamente a datos previamente simulados.
- **Área principal de visualización (navegador de pestañas):** Ubicada a la derecha de la barra lateral, esta zona presenta un sistema de pestañas que permite acceder a los distintos resultados proporcionados por la aplicación. Las pestañas disponibles son:
 - **Primera simulación:** Muestra un mapa correspondiente a la primera realización del campo simulado.
 - **Conjunto de excursión:** Visualiza el conjunto de excursión obtenido al aplicar el primer umbral de riesgo sobre la primera realización simulada.
 - **Mapa de varianza:** Presenta un mapa de varianza que describe la variabilidad de los valores del campo en las diferentes simulaciones.
 - **Mapas de riesgo:** Ofrece los mapas de riesgo obtenidos mediante la aplicación de la metodología basada en ventanas deslizantes. Incluye un desplegable que permite seleccionar la medida de riesgo utilizada (VaR histórico, VaR paramétrico, VaR Monte Carlo o Expected Shortfall).
 - **Resumen:** Proporciona un resumen textual con información relevante sobre las simulaciones realizadas, orientado a facilitar su interpretación y análisis.

Todas las pestañas, excepto la de resumen, permiten al usuario seleccionar el tipo de visualización (en dos o tres dimensiones) mediante un desplegable. En el caso de modelos espacio-temporales, se habilita adicionalmente un selector para elegir el instante temporal a visualizar.

- **Pie de página:** Incluye el nombre del autor de la aplicación y un enlace de descarga al manual de usuario.
- **Ventana modal para adjuntar datos condicionantes (opcional):** Si el usuario selecciona la opción de simulación condicionada, se habilita una ventana emergente que permite introducir los datos condicionantes de dos formas:
 - Mediante la carga de un archivo CSV con la estructura adecuada.
 - A través de un formulario dinámico para introducir los valores manualmente.
- **Ventana modal para cargar datos simulados (opcional):** En caso de optar por usar datos previamente simulados, se mostrará una ventana modal con la opción de adjuntar el archivo correspondiente. Si además la simulación es condicionada, aparecerá un segundo botón para cargar el archivo de datos condicionantes asociados.

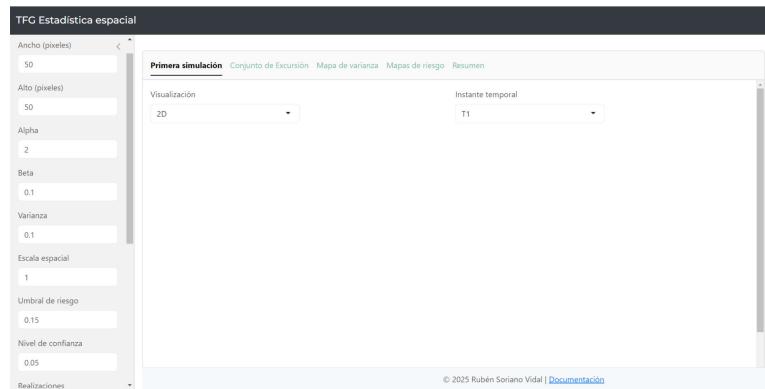


Figura 5.1.: Interfaz principal de la aplicación web una vez iniciada esta. (Fuente: elaboración propia).

5.5.5. Carga de datos

La aplicación permite al usuario cargar tanto datos previamente simulados como datos de entrada para realizar simulaciones condicionadas. A continuación, se describen los procedimientos a seguir en cada caso:

Carga de datos simulados

1. Seleccionar las características del campo utilizadas para la simulación (modelo espacial, dimensiones del dominio, número de realizaciones, etc.) y los parámetros asociados a

5. Aplicación para el análisis de valores extremos en el contexto espacial

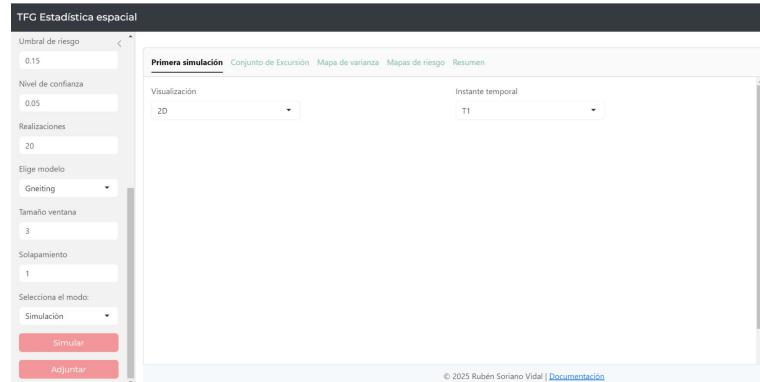


Figura 5.2.: Interfaz principal de la aplicación web una vez iniciada esta, esta vez mostrando la parte inferior de la pestaña de inputs. (Fuente: elaboración propia).

la metodología (configuración de ventanas, medida de riesgo, etc.).

2. Pulsar el botón Adjuntar correspondiente a la carga de datos simulados.
3. En la ventana modal que aparecerá, utilizar el botón de carga de archivos para seleccionar el archivo en formato CSV que contiene los datos simulados.
4. (Opcional) Si se ha seleccionado la opción de simulación condicionada, aparecerá un segundo botón de carga para adjuntar el archivo CSV con los datos condicionantes utilizados en la simulación previa.
5. Pulsar el botón Cargar datos para iniciar el proceso.
6. Una vez cargados los datos correctamente, la aplicación aplicará automáticamente la metodología de análisis de riesgo espacial y mostrará los resultados en las distintas pestañas de visualización.

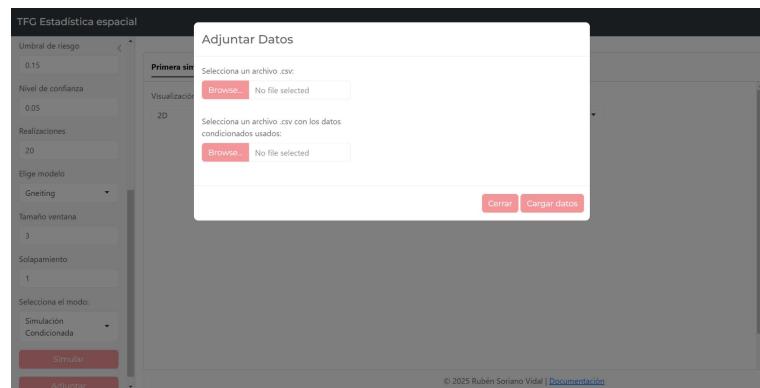


Figura 5.3.: Ventana modal emergente que permite adjuntar datos ya simulados (Fuente: elaboración propia).

Carga de datos condicionantes

1. Seleccionar las características del campo que se desea simular y los parámetros correspondientes a la metodología.
2. Seleccionar la opción **Simulación condicionada** en el desplegable correspondiente.
3. Pulsar el botón **Simular**.
4. En la ventana modal emergente, introducir los datos condicionantes mediante una de las siguientes opciones:
 - Carga de archivo CSV con el formato requerido (coordenadas y valores).
 - Introducción manual a través de un formulario dinámico. Para ello, seleccionar el número de datos a introducir y llenar los campos correspondientes.
5. Pulsar el botón **Procesar archivo** o **Simular formulario**, según la opción seleccionada.
6. Tras la carga de los datos condicionantes, la aplicación ejecutará la simulación condicionada seguida de la metodología de análisis de riesgo, mostrando los resultados en las diferentes pestañas disponibles.

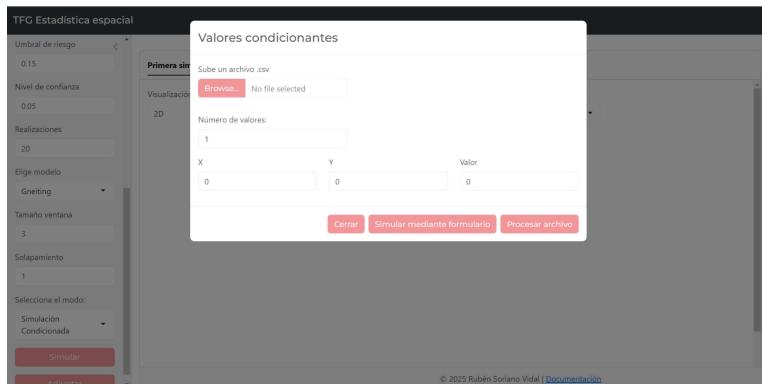


Figura 5.4.: Ventana modal emergente que permite adjuntar o introducir manualmente datos condicionantes. (Fuente: elaboración propia).

5.5.6. Simulación no condicionada

En el caso de seleccionar la opción de simulación no condicionada, el usuario deberá especificar las características del campo a simular, incluyendo el modelo espacial, las dimensiones del dominio, el número de realizaciones, y los parámetros específicos del modelo. Asimismo, deberá configurar los aspectos asociados a la metodología de análisis, tales como el tamaño de las ventanas deslizantes, el grado de solapamiento, el umbral de riesgo y el nivel de confianza.

5. Aplicación para el análisis de valores extremos en el contexto espacial

Una vez pulsado el botón **Simular**, la aplicación procederá a generar de forma automática las simulaciones correspondientes del campo aleatorio espacial (o espacio-temporal, si corresponde) y aplicará la metodología de análisis de riesgo definida por el usuario. Los resultados serán mostrados de forma inmediata en las distintas pestañas de la interfaz.

Si bien la simulación no condicionada puede presentar una aplicabilidad limitada en escenarios reales, debido a la ausencia de datos observados o valores empíricos con los que contrastar, esta opción resulta especialmente útil para que el usuario se familiarice con el funcionamiento de la aplicación y adquiera experiencia previa antes de aplicar la herramienta sobre datos reales o fenómenos específicos de interés.

5.5.7. Metodología y visualización

Una vez cargados los datos, ya sea mediante una simulación generada en la propia aplicación o a partir de un archivo previamente simulado, se procede a la aplicación de la metodología de análisis espacial. Para ello, se utilizan los parámetros definidos por el usuario, tales como el umbral de riesgo, el nivel de confianza, el tamaño de las ventanas deslizantes y el grado de solapamiento. Tras un breve periodo de procesamiento, cuya duración dependerá de la cantidad de datos y de la configuración metodológica, los resultados se mostrarán automáticamente en la interfaz.

En primer lugar, se presenta a través de **Primera simulación** la visualización correspondiente a la primera realización del campo simulado. Esta visualización permite al usuario verificar que la simulación se ha ejecutado correctamente y que la configuración introducida es coherente con los resultados observados. Ver Figura (5.5).

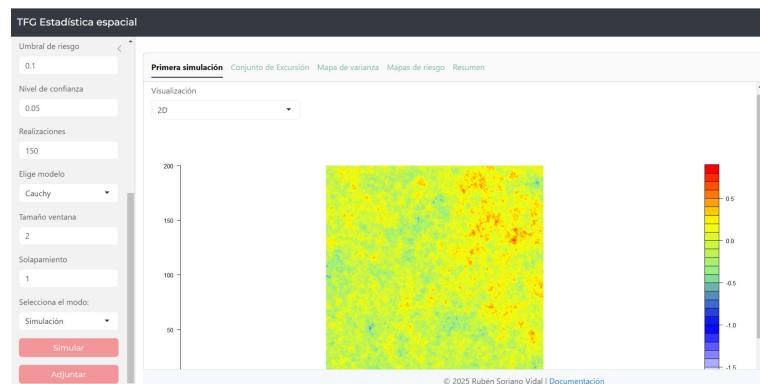


Figura 5.5.: Visualización de la primera realización tras simulación y aplicación de la metodología. (Fuente: elaboración propia).

En segundo lugar, mediante la pestaña **Conjunto de excursión**, se muestra el conjunto de excursión de la primera realización. En este mapa se resaltan únicamente aquellas ubicaciones cuyo valor supera el umbral de riesgo definido por el usuario (por ejemplo, un percentil del 90 %). Las zonas que no superan dicho umbral se representarán en blanco, permitiendo así

una primera aproximación visual a la extensión del área que presenta valores extremos. Cabe destacar que esta visualización se basa exclusivamente en una única realización, por lo que no debe considerarse representativa del comportamiento general del campo. Ver Figura (5.6).

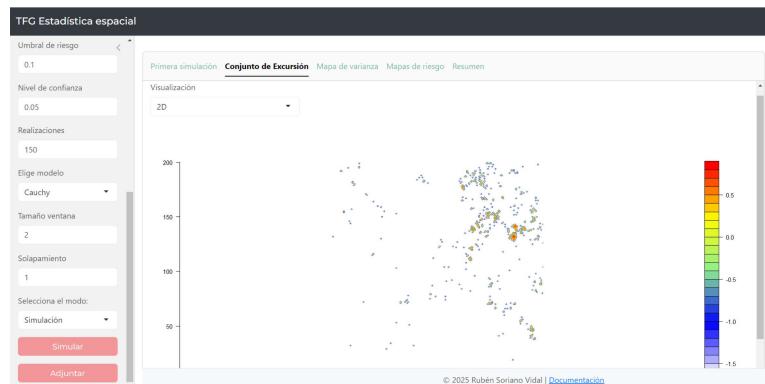


Figura 5.6.: Visualización del conjunto de excusión de la primera realización tras simulación y aplicación de la metodología. (Fuente: elaboración propia).

Tanto en la visualización de la primera realización como en la del conjunto de excusión, si se ha realizado una simulación condicionada, se mostrarán destacadas las ubicaciones de los puntos condicionantes. Esta funcionalidad permite al usuario comprobar visualmente que los datos condicionantes han sido cargados correctamente y que se han respetado durante la simulación. Ver Figura (5.7).

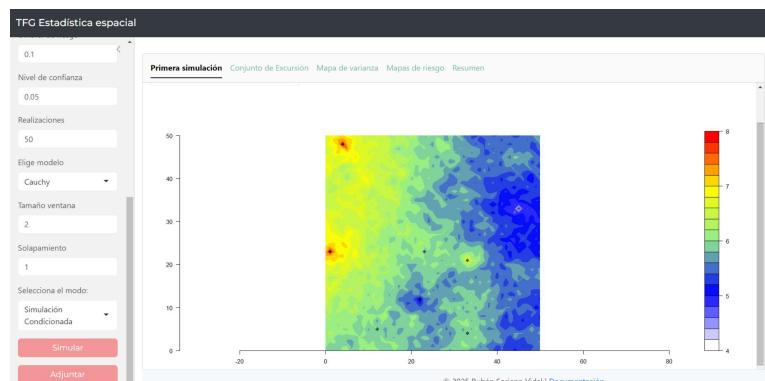


Figura 5.7.: Visualización de la primera realización tras simulación condicionada y aplicación de la metodología. (Fuente: elaboración propia).

Posteriormente, se puede acceder al Mapa de varianza, calculado a partir de todas las realizaciones simuladas. Este mapa proporciona información sobre la variabilidad del campo en cada ubicación espacial. En simulaciones condicionadas, los puntos condicionantes mostrarán varianza nula (aparecerán en blanco), ya que sus valores se han mantenido fijos en todas las realizaciones. Ver Figura (5.8).

A continuación, en la pestaña Mapas de riesgo, se visualizan los mapas que representan

5. Aplicación para el análisis de valores extremos en el contexto espacial

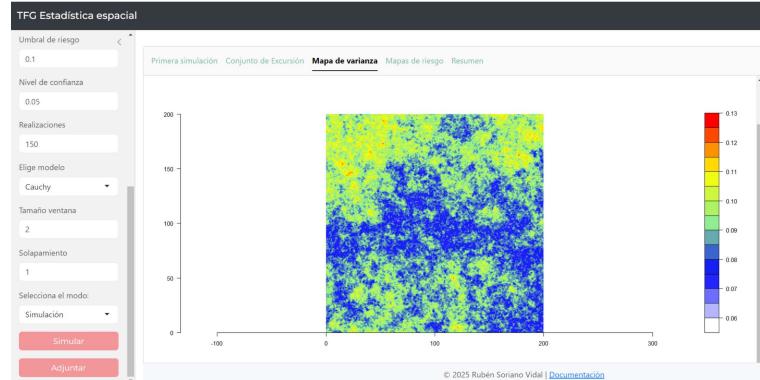


Figura 5.8.: Visualización del mapa de varianza tras simulación y aplicación de la metodología. (Fuente: elaboración propia).

el objetivo principal de esta aplicación: la identificación de áreas con riesgo extremo. El usuario podrá seleccionar la medida de riesgo utilizada (VaR histórico, VaR paramétrico, VaR por simulación Monte Carlo o Expected Shortfall), en función de sus necesidades. Cada mapa indica las zonas del dominio donde los valores del campo exceden los umbrales críticos definidos, siendo responsabilidad del usuario establecer qué condiciones determinan la existencia de riesgo extremo en su contexto particular. Ver Figura (5.9).

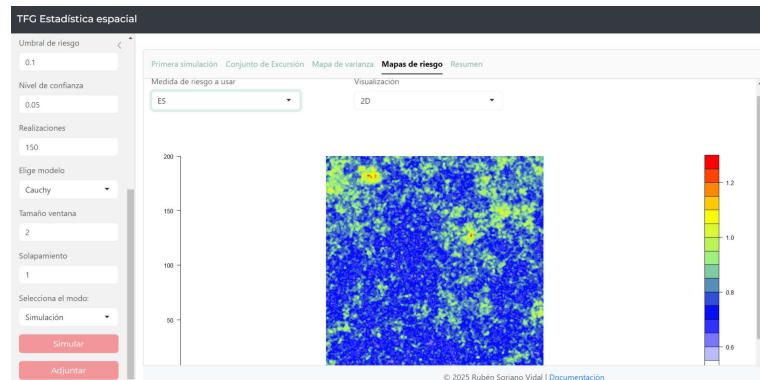


Figura 5.9.: Visualización del mapa de riesgo con ES como medida escogida tras simulación y aplicación de la metodología. (Fuente: elaboración propia).

Todas las visualizaciones incluyen una leyenda de colores asociada a los valores numéricos representados, lo cual facilita la interpretación de los resultados.

Adicionalmente, se ofrece la posibilidad de elegir entre visualización en dos o tres dimensiones, lo cual puede resultar especialmente útil para explorar de manera interactiva los datos y los resultados. Ver Figura (5.10).

En el caso de haber configurado una simulación espacio-temporal, las visualizaciones permiten seleccionar el instante temporal que se desea visualizar, proporcionando una vista dinámica del comportamiento del campo a lo largo del tiempo. Ver Figura (5.11).

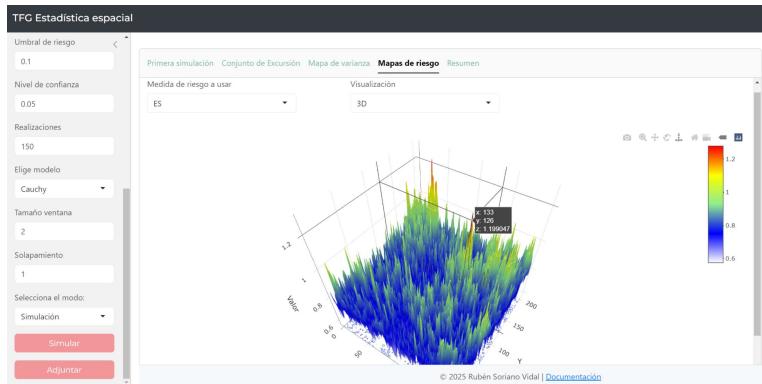


Figura 5.10.: Visualización 3D del mapa de riesgo con ES como medida escogida tras simulación y aplicación de la metodología. (Fuente: elaboración propia).

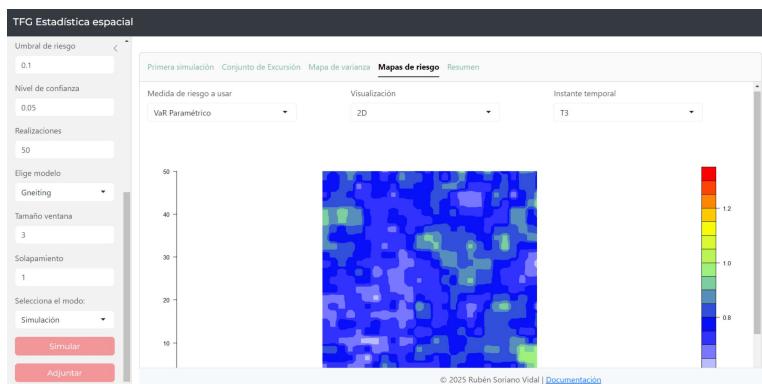


Figura 5.11.: Visualización del mapa de riesgo con VaR paramétrico como medida escogida tras simulación espacio-temporal. Se ha escogido el tercer instante para mostrar. (Fuente: elaboración propia).

Finalmente, el usuario podrá acceder a la pestaña Resumen, donde se presenta una recopilación de estadísticas clave obtenidas a partir de las simulaciones y de la metodología aplicada. Entre los valores mostrados se encuentran: el mínimo y máximo global del conjunto de realizaciones, el valor máximo de la primera realización, el umbral de riesgo calculado según el percentil definido, y un mensaje explicativo que facilita la interpretación de los mapas de riesgo generados. Ver Figura (5.12).

5. Aplicación para el análisis de valores extremos en el contexto espacial

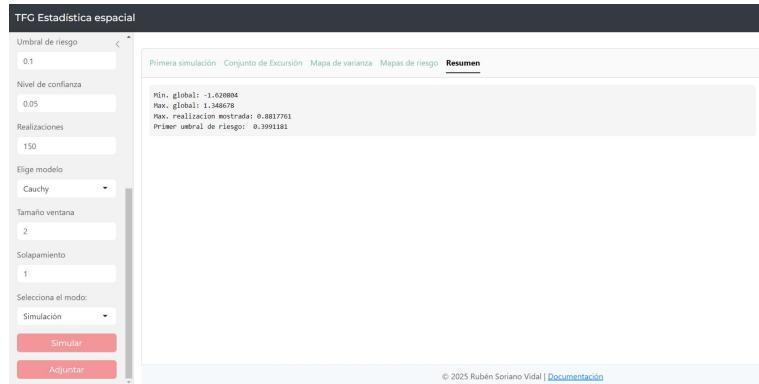


Figura 5.12.: Visualización del resumen de datos tras simulación y aplicación de la metodología. (Fuente: elaboración propia).