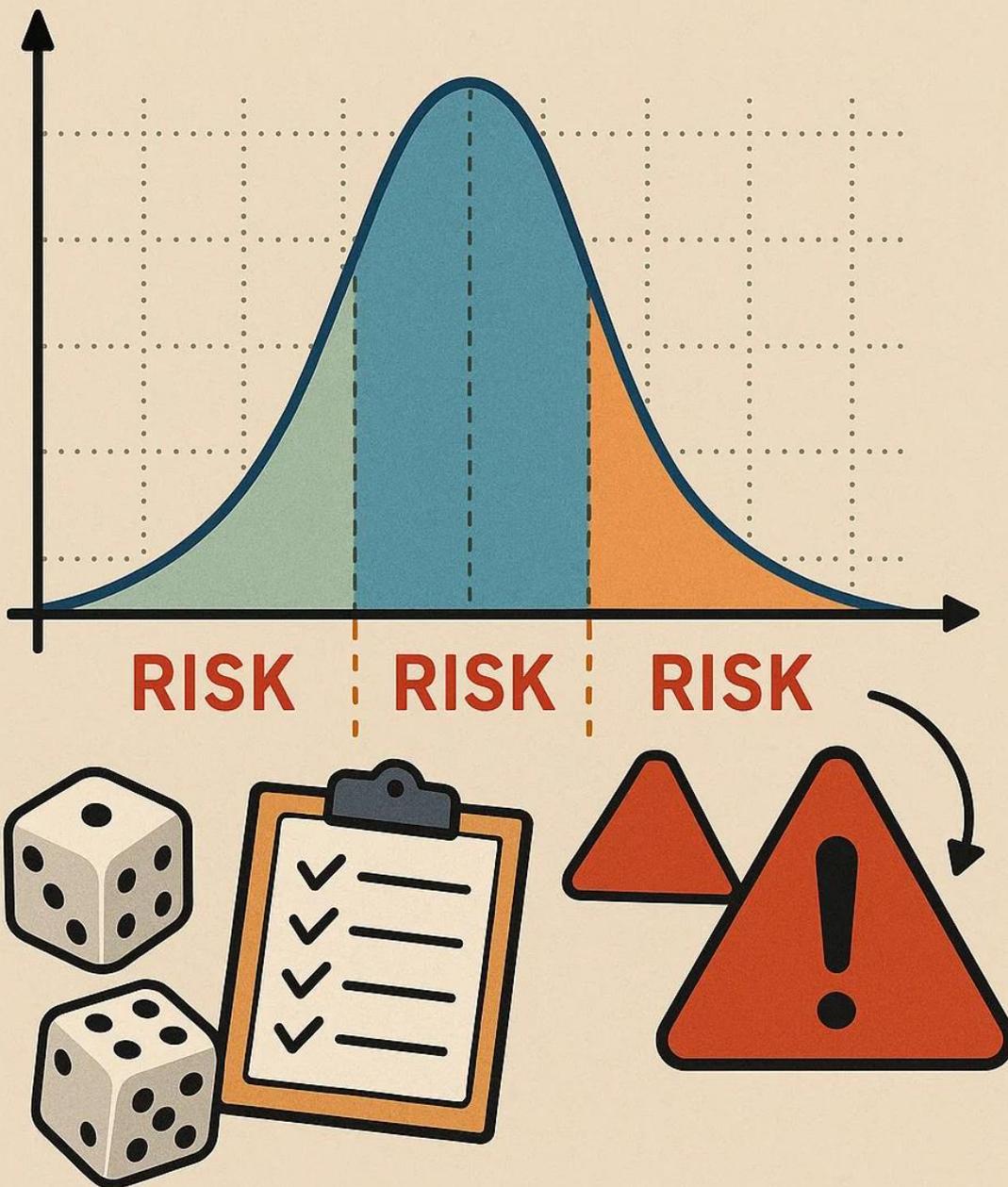


Análisis Cuantitativo de Riesgos con





Guía de usuario de
MCSimulRisk

(Monte Carlo Simulation for Risk Analysis)

V 2.0

Febrero 2025

INSISOC – Universidad de Valladolid
Edificio I+D – Campus Miguel Delibes
Paseo de Belén, 11
47011 – Valladolid, España
+34 983185833
fernando.acebes@uva.es



Copyright



Attribution-Non Commercial-Share Alike

Marcas comerciales mencionadas

Microsoft Excel ® es marca comercial registrada de Microsoft Corporation

Matlab ® es marca comercial registrada de MathWorks

Contenido

Bienvenidos	1
Propósito de MCSimulRisk®.....	3
¿Qué hace MCSimulRisk®?	3
Principales características de MCSimulRisk®	4
¿Para qué puede utilizarse MCSimulRisk®?.....	4
Resultados que puede ofrecer MCSimulRisk®.....	5
Para empezar	7
Información sobre esta versión	7
Cómo obtener ayuda	7
Instrucciones generales de ejecución de la aplicación.....	7
Preparativos previos.....	8
Iconos de aviso	8
Copyright ®.....	9
Marca Registrada ™	9
Bloque 1. Define el proyecto.....	11
1.1 Configurar plantilla del proyecto	11
1.2 Definir actividades y riesgos	15
Bloque 2. Comandos MCSimulRisk.....	29
2.1 Display graphs	33
2.1.1 PV – Planned Value Curve	34
2.1.2 Probability Distribution Function – Total Duration	34
2.1.3 Probability Distribution Function – Total Cost	35
2.1.4 Simulated Projects – End Time	35
2.1.5 Simulated Projects – End Time + pdf.....	35
2.1.6 RETURN	36
2.2 Duration Sensitivity Index	36
2.2.1 Criticality Index (CI)	37
2.2.2 Cruciality Index (Crl)	37
2.2.3 Significance Index (SI).....	38

2.2.4 Schedule Sensitivity Index (SSI)	38
2.2.5 Management-Oriented Index (MOI).....	39
2.2.6 Export data to Excel	40
2.2.7 RETURN.....	40
2.3 Cost Sensitivity Index	40
2.3.1 Relative Cost (RC).....	41
2.3.2 Cost Cruciality Index (CCI)	41
2.3.3 Cost Sensitivity Index (CSI).....	42
2.3.4 Export data to Excel	43
2.3.5 RETURN.....	43
2.4 Show simulation data	43
2.4.1 Calculate Total Duration for a given Percentile	44
2.4.2 Calculate Percentile for a given Total Duration	44
2.4.3 Calculate Total Cost for a given Percentile	45
2.4.4 Calculate Percentile for a given Total Cost	45
2.4.5 RETURN.....	46
2.5 Sensitivity Analysis	46
2.5.1 Percent Change Graph.....	46
2.5.2 Percentile Graph.....	50
2.5.3 RETURN.....	53
2.6 SRB / CRB	53
2.6.1 Plot SRB/CRB curves.....	54
2.6.2 Export SRB/CRB data to Excel	55
2.6.3 RETURN.....	56
2.7 TRIAD	56
2.7.1 Plot TRIAD curves	56
2.7.2 Export Triad data to Excel	58
2.7.3 RETURN.....	58
2.8 SLT	58
2.8.1 Plot graphs	59
2.8.2 Export data to Excel	61
2.8.3 RETURN.....	61
2.9 Quantitative Risk Prioritisation	61
2.9.1 Display results on screen	62

2.9.2 Export data to Excel.....	64
2.9.3 RETURN	64
2.10 Export simulation data to Excel.....	64
2.11 EXIT	65

Bienvenidos

Bienvenido al manual de usuario de MCSimulRisk®, una herramienta educativa y de investigación avanzada para el análisis cuantitativo de riesgos en proyectos mediante simulación Monte Carlo. Este software ha sido desarrollado en el entorno de Matlab® y diseñado específicamente para facilitar a los estudiantes y profesionales una comprensión profunda de los riesgos en la gestión de proyectos. MCSimulRisk® no solo sirve para llevar a cabo simulaciones de riesgo, sino que también permite un análisis detallado y comprensible de diversos tipos de incertidumbre, tales como la aleatoria, estocástica y epistemológica.

La herramienta educativa MCSimulRisk® se presenta como una solución integral para la enseñanza y el análisis cuantitativo de riesgos en el ámbito de la gestión de proyectos. Este software, desarrollado en el entorno de Matlab®, está específicamente diseñado para realizar simulaciones Monte Carlo, una metodología ampliamente utilizada para la cuantificación de incertidumbres en proyectos. MCSimulRisk® permite a los estudiantes y profesionales simular escenarios diversos en proyectos de distintas complejidades, permitiendo un análisis detallado y comprensible de los riesgos que puedan impactar en la duración, costo y otros aspectos clave del proyecto.

Una de las principales ventajas de MCSimulRisk® es su capacidad para manejar múltiples tipos de incertidumbre en el análisis de riesgos, tales como los riesgos aleatorios (relacionados con eventos impredecibles), estocásticos (que dependen de variables aleatorias) y epistemológicos (derivados de la falta de conocimiento). Esta flexibilidad es esencial para proporcionar un modelo de análisis que se asemeje más a los escenarios reales que enfrentan los proyectos en entornos inciertos. Al permitir la inclusión de estos diferentes tipos de incertidumbre, MCSimulRisk® no solo facilita la enseñanza de conceptos avanzados de gestión de riesgos, sino que también abre la puerta a investigaciones académicas más profundas y precisas sobre la influencia de diversas incertidumbres en la toma de decisiones y la planificación de contingencias en los proyectos.

Desde un punto de vista didáctico, MCSimulRisk® representa un avance significativo respecto a las herramientas comerciales típicas, como @Risk, Crystal Ball o ModelRisk, que generalmente requieren conocimientos avanzados de programación en Excel. A diferencia de estas herramientas, MCSimulRisk® elimina la necesidad de programar manualmente modelos de proyectos complejos, lo que permite a los estudiantes concentrarse en el análisis y la interpretación de resultados, optimizando así el tiempo de laboratorio. Los estudiantes pueden dedicar más tiempo a comprender la problemática y justificar las decisiones tomadas, en lugar de perder tiempo en la programación de los modelos. Además, esta herramienta reduce considerablemente el costo asociado a la compra de licencias de

software comercial, lo cual supone una ventaja económica significativa para instituciones educativas y estudiantes.

MCSimulRisk® no solo se limita a su valor educativo, sino que también tiene aplicaciones en la investigación y la práctica profesional. En el campo de la investigación, este software ofrece nuevas oportunidades para explorar el impacto de los riesgos sobre el proyecto, permitiendo a los investigadores experimentar con metodologías de control de proyectos en entornos inciertos. Al integrar métricas de sensibilidad, como el Índice de Criticidad y el Índice de Crucialidad, la herramienta permite identificar cuáles actividades tienen una mayor probabilidad de afectar la duración total del proyecto y, por lo tanto, proporciona una base sólida para priorizar esfuerzos de mitigación y tomar decisiones informadas.

Entre las funcionalidades adicionales que ofrece MCSimulRisk® se encuentran las opciones de monitoreo y control de proyectos. Esto se logra mediante metodologías avanzadas como el Índice de Control del Costo (CCol) y el Índice de Control de la Programación (SCol), los cuales permiten al usuario analizar y supervisar el avance del proyecto en función de los riesgos y cambios que puedan surgir. La herramienta también incluye indicadores específicos como el Índice de Riesgo de Actividades (ARI), que facilita la priorización de las actividades según su contribución a los riesgos del proyecto. Estas funcionalidades avanzadas no solo permiten una mayor comprensión de los riesgos y las variables del proyecto, sino que también fomentan la adopción de prácticas más modernas en la gestión de riesgos, adaptadas a las complejidades actuales de los proyectos en la industria.

Otro aspecto destacado de MCSimulRisk® es su facilidad de uso. Aunque se ha desarrollado en Matlab®, los usuarios no necesitan conocimientos previos de programación para utilizar la herramienta. Su diseño intuitivo permite que los estudiantes y profesionales se centren en el análisis y no en los aspectos técnicos de la programación, facilitando así su integración en programas académicos y de formación. Gracias a su interfaz amigable y a la inclusión de menús con opciones de control y análisis, los usuarios pueden acceder rápidamente a gráficos de distribución de probabilidad, curvas de valor planificado y otras representaciones visuales que enriquecen el análisis. Esta accesibilidad es especialmente útil en el contexto educativo, ya que permite a los estudiantes adquirir habilidades prácticas en el uso de herramientas cuantitativas para la gestión de riesgos sin necesidad de pasar por una curva de aprendizaje compleja.

El uso de MCSimulRisk® no solo optimiza el tiempo de los estudiantes, sino que también mejora los resultados de aprendizaje al permitir una comprensión más profunda de los conceptos de riesgo y de la incertidumbre en los proyectos. La herramienta permite realizar ejercicios prácticos con escenarios complejos que, de otro modo, serían difíciles de modelar con software tradicional. Esto significa que los estudiantes no solo aprenden a manejar las herramientas de análisis, sino que también desarrollan una mayor capacidad para analizar e interpretar resultados, tomar decisiones basadas en datos y justificar sus elecciones de manera fundamentada.

En el ámbito profesional, MCSimulRisk® representa una alternativa viable para aquellos que necesitan realizar análisis de riesgos pero que, por diversas razones, no tienen acceso a software comercial. Con una versión basada en la web en desarrollo, la herramienta pretende ser accesible para un público más amplio, permitiendo su uso sin la necesidad de instalar Matlab®. Esta característica amplía las posibilidades de adopción de MCSimulRisk® en diferentes contextos, desde el académico hasta el corporativo, ofreciendo una solución robusta y accesible para la simulación y el control de riesgos en proyectos.

Propósito de MCSimulRisk®

MCSimulRisk® surge como una respuesta a los desafíos educativos que enfrentan los estudiantes en los cursos de gestión de riesgos y análisis cuantitativo. La herramienta fue desarrollada para facilitar el aprendizaje práctico sin necesidad de conocimientos avanzados de programación en Excel, lo cual suele ser un obstáculo significativo en el uso de software comercial. Por lo tanto, MCSimulRisk® permite a los usuarios centrarse en el análisis de riesgos y en la interpretación de resultados, optimizando así el tiempo de estudio y práctica. Además, al utilizar un software específico para la simulación Monte Carlo, los estudiantes y profesionales pueden abordar proyectos de cualquier nivel de complejidad, permitiendo el análisis de redes de proyectos complejas y el modelado de incertidumbres de manera intuitiva y accesible.

¿Qué hace MCSimulRisk®?

MCSimulRisk® emplea la simulación Monte Carlo, una técnica de modelado ampliamente utilizada en la gestión de proyectos, para cuantificar el impacto de riesgos y analizar el comportamiento de proyectos bajo diferentes escenarios de incertidumbre. La simulación Monte Carlo permite generar múltiples escenarios basados en distribuciones de probabilidad para calcular la duración total, el costo y otros resultados relevantes del proyecto. Estos escenarios se basan en los datos de entrada definidos por el usuario, tales como las distribuciones de probabilidad de tiempo y costo para cada actividad, y las relaciones de precedencia entre ellas. Como resultado, MCSimulRisk® proporciona un análisis detallado del comportamiento del proyecto, ayudando a identificar y mitigar riesgos potenciales antes de que afecten negativamente el desarrollo de este.

Además, la herramienta permite a los usuarios incorporar riesgos específicos en el modelo del proyecto y clasificar estos riesgos según su probabilidad de ocurrencia y el impacto que pueden tener en la duración y los costos del proyecto. Esto se logra mediante la selección de distribuciones de probabilidad que modelan la incertidumbre asociada a cada actividad o conjunto de actividades. MCSimulRisk® también facilita la visualización de los resultados de la simulación en gráficos de distribución de probabilidad y curvas de valor planificado, entre otras representaciones visuales.

Principales características de MCSimulRisk®

Entre las funcionalidades que destacan en MCSimulRisk® se encuentran las siguientes:

1. **Integración de incertidumbre múltiple:** A diferencia de otras herramientas comerciales, MCSimulRisk® permite incorporar distintos tipos de incertidumbre en el modelo de análisis de riesgos, incluyendo aleatoriedad, estocasticidad y epistemología. Esto permite un modelado más completo y realista de los riesgos en proyectos, cubriendo un espectro más amplio de escenarios posibles.
2. **Interfaz intuitiva:** Aunque MCSimulRisk® se desarrolla en Matlab®, su interfaz está diseñada para ser accesible y fácil de usar. Los usuarios no necesitan conocimientos avanzados de programación para utilizar la herramienta. La interfaz permite definir las actividades del proyecto, establecer relaciones de precedencia, y seleccionar las distribuciones de probabilidad y los tipos de incertidumbre de manera sencilla.
3. **Análisis de sensibilidad y criticidad:** MCSimulRisk® calcula indicadores de sensibilidad, como el Índice de Criticidad (CI) y el Índice de Crucialidad (CrI), que permiten evaluar cuáles actividades son más propensas a afectar la duración y el costo del proyecto. Esta funcionalidad es esencial para ayudar a los usuarios a priorizar actividades de acuerdo con su importancia y riesgo asociado.
4. **Control de proyectos en entornos inciertos:** La herramienta incluye metodologías avanzadas de control de proyectos en entornos inciertos, tales como los índices de control de costo y programación (SCoI y CCoI), y el índice de riesgo de actividades (ARI). Estas metodologías permiten un monitoreo detallado de los riesgos en tiempo real, así como la comparación del progreso del proyecto con sus estimaciones originales.
5. **Exportación de datos:** MCSimulRisk® permite a los usuarios exportar los resultados de la simulación y los datos generados a archivos Excel (.xlsx) para un análisis más exhaustivo fuera del entorno de Matlab®. Esta característica es especialmente útil para informes y documentación de resultados, facilitando así la comunicación y la toma de decisiones basadas en datos precisos.

¿Para qué puede utilizarse MCSimulRisk®?

MCSimulRisk® es una herramienta versátil que se puede utilizar en diversas aplicaciones de la gestión de proyectos. En el ámbito educativo, facilita la enseñanza del análisis de riesgos y de la gestión de incertidumbre, proporcionando a los estudiantes una plataforma práctica para explorar diferentes escenarios de riesgo y su impacto. Los ejercicios realizados con MCSimulRisk® ayudan a los estudiantes a comprender mejor los conceptos teóricos de riesgo y a desarrollar habilidades analíticas para la toma de decisiones informada.

En el ámbito profesional, MCSimulRisk® se puede emplear para evaluar y gestionar riesgos en proyectos de cualquier sector, permitiendo a los gerentes de proyecto anticipar problemas potenciales y planificar contingencias. Los usuarios pueden realizar análisis de sensibilidad para determinar cómo diferentes factores de riesgo afectan el proyecto y utilizar estos datos para priorizar recursos y esfuerzos. Adicionalmente, al incluir métodos avanzados de control y monitoreo, MCSimulRisk® permite gestionar proyectos en tiempo real, ajustando las expectativas y tomando decisiones fundamentadas en función de los riesgos identificados.

Resultados que puede ofrecer MCSimulRisk®

Los resultados generados por MCSimulRisk® proporcionan una visión integral de los riesgos del proyecto. Entre estos resultados se encuentran:

- **Curvas de distribución de probabilidad** para el costo total y la duración del proyecto, que permiten a los usuarios evaluar la probabilidad de cumplir con los plazos y el presupuesto.
- **Indicadores de sensibilidad y criticidad** que identifican las actividades más relevantes en términos de riesgo.
- **Gráficos de valor planificado y curvas de SRB/CRB**, que muestran la progresión del riesgo en el proyecto y permiten una comparación con las líneas base de programación y costo.
- **Escenarios de control estocástico** para evaluar el estado del proyecto y realizar ajustes necesarios en función de los riesgos que surjan durante el desarrollo del proyecto.
- **Exportación de resultados** en formatos compatibles con Excel, facilitando así la creación de informes y presentaciones detalladas.

Para finalizar, MCSimulRisk® es más que un simple software de simulación; es una herramienta integral para el análisis de riesgos, diseñada para mejorar la enseñanza y el aprendizaje en la gestión de proyectos y facilitar el análisis de incertidumbre en contextos reales. Con su interfaz intuitiva y su capacidad para manejar múltiples tipos de incertidumbre, MCSimulRisk® se convierte en un recurso esencial tanto para la educación como para la investigación y la práctica profesional en la gestión de riesgos. Al facilitar la modelación de escenarios complejos y permitir un análisis detallado de los riesgos del proyecto, MCSimulRisk® aporta no solo una herramienta de análisis, sino también una experiencia de aprendizaje enriquecedora que prepara a los usuarios para enfrentar desafíos reales en el ámbito de la gestión de proyectos. Este manual de usuario tiene como objetivo guiarte en el uso eficaz de MCSimulRisk®, maximizando su potencial para tus necesidades específicas en análisis de riesgos y planificación de proyectos.

Para empezar

Información sobre esta versión

Esta es la versión MCSimulRisk® V2.0, y se puede ejecutar en Sistema Operativo Windows.

Matlab no ofrece la posibilidad de realizar compilación cruzada. Un programa compilado en Windows solamente se podrá ejecutar en Windows.

Esta versión está desarrollada en la versión Matlab® **R2023a**. Aquellos usuarios que pretendan ejecutar MCSimulRisk® deben disponer de dicha versión de Matlab® instalada en su ordenador. En caso contrario, deberán descargar e instalar el **Runtime** específico para la versión de Matlab en la que se ha compilado (**R2023a**). En caso de que el usuario disponga de una versión posterior instalada del MATLAB *Runtime*, esta no ejecuta los compilados generados en versiones anteriores. No obstante, es posible instalar más de una versión a la vez en el mismo ordenador.

Cómo obtener ayuda

Se ofrece asistencia técnica gratuita a todos los usuarios registrados de *MCSimulRisk*® con un plan actual de mantenimiento. Para asegurarse de que usted es un usuario registrado de *MCSimulRisk*®, regístrese electrónicamente en www.insisoc.uva.es/MCSimuRisk/register

Instrucciones generales de ejecución de la aplicación

Para que la aplicación MCSimulRisk® se ejecute adecuadamente, es necesario que:

- Se disponga o se haya instalado la versión equivalente del Runtime en el que se ha compilado la aplicación
- Se disponga la aplicación MCSimulRisk.exe en el mismo directorio/carpeta que el fichero .xlsx del proyecto que se desea ejecutar

Haga doble clic en *MCSimulRisk.exe*, se abrirá una ventana nueva de comandos y, siguiendo las instrucciones que le aparecerán en pantalla o a través de los menús emergentes, podrá disfrutar de todas las utilidades que ofrece *MCSimulRisk*®.

Preparativos previos

En la página de descarga de la aplicación (www.insisoc.uva.es/MCSimuRisk/download) encontrará los siguientes ficheros:

- **MCSimulRisk.exe** – Fichero de ejecución de la aplicación
- **ProjectTask.xlsm** – Libro de Excel habilitado para macros
- **MATLAB Runtime R2023a (9.12)** – Permite ejecutar aplicaciones o componentes compilados de MATLAB sin necesidad de instalar MATLAB en su ordenador.

Para descargar e instalar el *Runtime* de MATLAB (también puede descargarlo de la página oficial de Matlab <https://es.mathworks.com/products/compiler/matlab-runtime.html>):

- Haga clic en la versión R2023a (9.12) y plataforma Windows 64-bits, de la tabla que aparece en la página web. La versión de *MATLAB Runtime* está vinculada a la versión de MATLAB en la que se ha compilado la aplicación.
- Guarde el archivo de instalación de *MATLAB Runtime* en el ordenador en el que vaya a ejecutar la aplicación o el componente.
- Haga doble clic en archivo zip descargado y busque el instalador (setup.exe). Ejecute el fichero .exe y siga las instrucciones del asistente de instalación.

ProjectTask.xlsm es un libro de Excel habilitado para macros que le permitirá configurar su proyecto. En la sección “Define el proyecto” le guiaremos para conseguir configurar adecuadamente su proyecto, previo a la simulación. Una vez configurado correctamente el proyecto, debe convertir el fichero .xlsm (Libro de Excel habilitado para macros) a un fichero .xlsx (Libro de Excel).

MCSimulRisk.exe únicamente puede leer datos de un archivo Excel (.xlsx), y no de otro tipo de archivo. Además, deben coincidir en la misma ubicación en la misma dirección, en el mismo lugar de almacenamiento en el sistema.

Iconos de aviso

A lo largo de este manual, aparecerán distintos iconos, con significado diferente:



Advertencia. En este caso, el usuario deberá prestar especial atención a lo indicado en el punto correspondiente, porque puede afectar al correcto funcionamiento de la aplicación, o puede ser relevante para la configuración adecuada del proyecto.

Copyright ®

Para poder trabajar con MCSimulRisk®, se necesitan dos aplicaciones base: Matlab®, entorno de programación en el cual ha sido desarrollado MCSimulRisk® y soporte para poder ejecutar la aplicación. Y Excel®, hoja de cálculo que sirve de soporte para configurar el proyecto enunciado de nuestro problema.

- **Matlab®** es un entorno de programación y cálculo numérico desarrollado por MathWorks. El uso de MATLAB® está sujeto a los términos y condiciones establecidos en su licencia de software, la cual debe ser adquirida de manera legal a través de MathWorks o distribuidores autorizados. Cada licencia de MATLAB puede tener limitaciones de uso en cuanto a usuarios, dispositivos, y/o tipo de proyectos (comerciales, educativos, o de investigación).

El nombre MATLAB y el logotipo de MATLAB son marcas registradas de 'The MathWorks, Inc'. Su uso está protegido por las leyes de propiedad intelectual y solo puede ser empleado bajo permiso de MathWorks. Cualquier uso no autorizado de la marca o el software puede resultar en acciones legales por parte de los propietarios.

- **Microsoft Excel®** es un programa de hoja de cálculo desarrollado por Microsoft Corporation. El uso de Excel está regulado por los términos de la licencia de software de Microsoft, la cual debe ser adquirida de manera legítima a través de Microsoft o sus distribuidores autorizados. Las licencias de Excel pueden variar según el tipo de suscripción o adquisición (individual, empresarial, educativa) y tienen restricciones de uso que deben ser respetadas.

El nombre Microsoft Excel y su logotipo son marcas registradas de Microsoft Corporation. Estas marcas están protegidas por las leyes de propiedad intelectual y su uso no autorizado puede dar lugar a sanciones legales. Solo puede emplearse la marca conforme a los permisos establecidos por Microsoft.

Marca Registrada ™

A su vez, MCSimulRisk® es una aplicación software para realizar análisis cuantitativo de riesgos, con Licencia de Propiedad Intelectual nº O00019981e2200022518 a nombre de la Universidad de Valladolid

Igualmente, MCSimulRisk® es una Marca Registrada con el Nº M4223848, a nombre de la Universidad de Valladolid, con fecha 19 de marzo de 2024.

Bloque 1. Define el proyecto

En este bloque, configuraremos el proyecto que será analizado. Para ello, utilizaremos un archivo auxiliar en formato .xlsm (Libro de Excel habilitado para macros). Este archivo incluye macros preprogramadas que permiten adaptar el proyecto de manera eficiente al número de actividades y riesgos identificados.

Para usar este archivo con MCSimulRisk, es necesario convertirlo a formato .xlsx (Hoja de cálculo de Excel), que es el formato compatible con la aplicación para la lectura de datos.

Este bloque está dividido en dos partes:

1. **Configuración de la hoja de cálculo:** En esta primera etapa, prepararemos la hoja de cálculo habilitando las tablas necesarias para definir el proyecto. Dependiendo de las características del proyecto (número de actividades y riesgos identificados), se generarán automáticamente las matrices necesarias para la introducción de los datos clave.
2. **Introducción de datos del proyecto:** En esta segunda etapa, detallaremos cómo introducir los datos del proyecto (duraciones, costes, riesgos y relaciones de precedencia) en la hoja de cálculo configurada. Una vez completada la introducción de los datos, el archivo estará listo para ser usado como fuente de datos en MCSimulRisk.

Este proceso asegura que todos los datos relevantes del proyecto estén organizados y listos para su análisis en MCSimulRisk de manera eficiente.

1.1 Configurar plantilla del proyecto

Paso 1: Abrir el archivo “ProjectTask.xlsm”

Comienza abriendo el archivo “**ProjectTask.xlsm**”, que es un Libro de Excel habilitado para macros. Este archivo te servirá como base para crear el archivo .xlsx donde se codificará la información del proyecto que se simulará en MCSimulRisk.

Si aparece el mensaje “**ADVERTENCIA DE SEGURIDAD: Las macros se han deshabilitado**”, haz clic en “**Habilitar contenido**” (ver Fig. 1.1). Esto permitirá que las macros programadas en el archivo funcionen correctamente.

Paso 2: Introducir los parámetros principales del proyecto

A continuación, deberás introducir los parámetros principales del proyecto:

- **Número de actividades del proyecto (*Nº of activities*):** Ingresa el número de actividades que forman parte del proyecto en la casilla “*Nº of activities*”. Luego, haz clic en el botón “**Generate Activities**”. La macro asociada generará automáticamente tantas actividades como el número introducido (ver Fig. 1.2).

Mensaje: “ADVERTENCIA DE SEGURIDAD Las macros se han deshabilitado”



Fig. 1.1 Vista inicial de la aplicación. Mensaje de advertencia para habilitar macros

Al pulsar “**Generate Activities**”, también se creará una **matriz de precedencias**, que define las relaciones de precedencia entre las actividades del proyecto. La actividad **A0** corresponde a la actividad ficticia inicial, mientras que la última actividad generada será la actividad ficticia final. Esta última actividad tendrá un número superior al número total de actividades del proyecto.

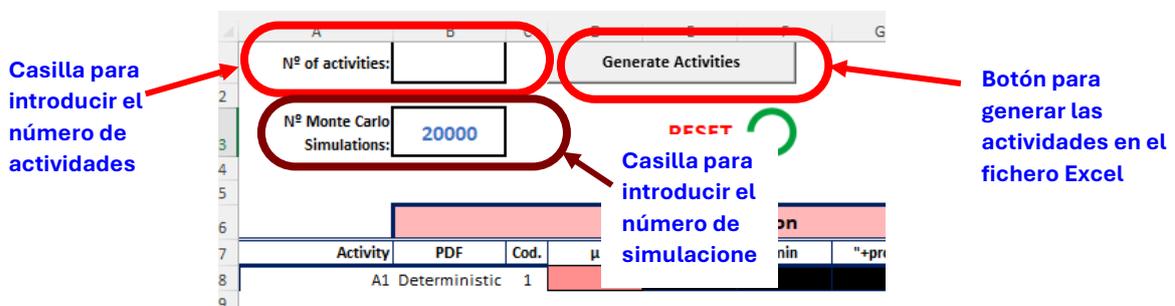


Fig. 1.2 Introducción de número actividades y número simulaciones

- **Número de simulaciones de Monte Carlo (*Nº Monte Carlo Simulations*):** Por defecto, el sistema ejecuta 20,000 simulaciones, pero este valor puede ser modificado según tus necesidades, introduciendo un número diferente en la casilla correspondiente.
- **Número de riesgos de duración (*Nº of duration risks*):** Introduce el número de riesgos de duración identificados en el proyecto en la casilla “*Nº of duration risks*”. Luego, haz clic en el botón “**Generate Risks Duration**” (ver Fig. 1.3). Al hacerlo, la

macro asociada generará automáticamente el número de riesgos de duración especificado.

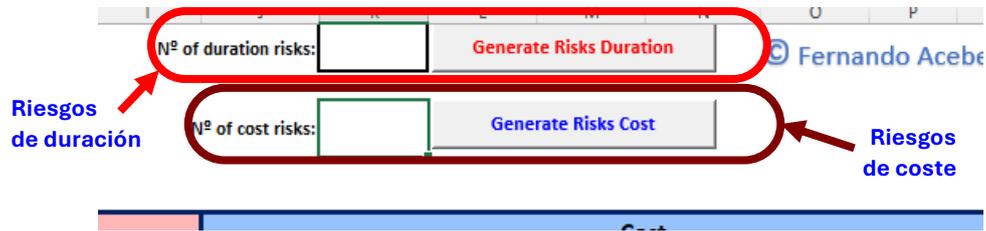


Fig. 1.3 Introducción de número de riesgos de coste y duración

Por cada riesgo de duración identificado, la macro generará dos filas: una para la probabilidad de ocurrencia y otra para el impacto en la duración del proyecto.

Además, si el número de riesgos de duración es mayor a 0, al hacer clic en “Generate Risks Duration”, la macro ampliará automáticamente la matriz de precedencias, incorporando los riesgos de duración como actividades dentro del proyecto. Esto permitirá que los riesgos puedan ser secuenciados correctamente (ver Fig. 1.4).

En la matriz de precedencias actualizada, la actividad A0 seguirá siendo la actividad ficticia inicial, y al final de la matriz se añadirá la actividad ficticia final (Af), junto con los riesgos identificados como actividades.

Precedence Relationship Matrix

Predecessors →		A0	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	Af
Successors ↓	A0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	A1										
	A2										
	A3										
	A4										
	A5										
	R1										
	R2										
	R3										
	Af										

Fig. 1.4 Matriz de Relación de Precedencias sin cumplimentar. Ejemplo de proyecto con 5 actividades y 3 riesgos de duración.

- **Número de riesgos de coste (Nº of cost risks):** Ingresa el número de riesgos de coste identificados en el proyecto en la casilla “Nº of cost risks”. Luego, haz clic en el botón “Generate Risks Cost”, y la macro correspondiente generará automáticamente los riesgos de coste según el número indicado (ver Fig. 1.3). Para cada riesgo de coste, se generarán dos filas: una para la probabilidad de aparición y otra para el impacto en la duración del proyecto.

Además, al hacer clic en “Generate Risks Cost”, se creará una matriz de correlación entre riesgos (ver Fig. 1.5). En esta matriz, puedes programar correlaciones entre los diferentes riesgos identificados.

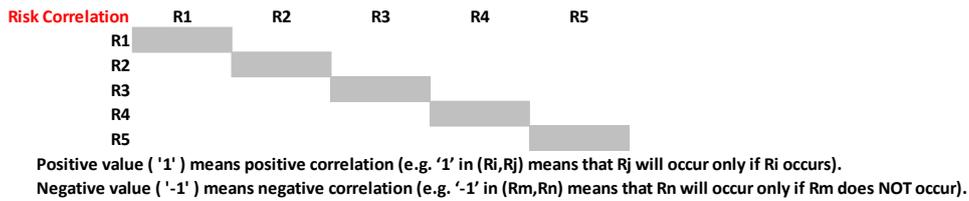


Fig. 1.5 Matriz de correlaciones entre riesgos, sin cumplimentar. Ejemplo de proyecto con 3 riesgos de duración y 2 riesgos de coste.



Importante: Aunque el número de riesgos de duración o coste sea 0, debes indicarlo en las casillas correspondientes (“Nº of duration risks” y “Nº of cost risks”) y seguir estos pasos en el orden correcto:

1. Nº of activities + clic en *Generate Activities*
2. Nº of duration risks + clic en *Generate Risks Duration*
3. Nº of cost risks + clic en *Generate Risks Cost*

Al completar estos pasos, el resultado será una plantilla similar a la mostrada en la Fig. 1.6. En esta plantilla para un proyecto con 5 actividades, 3 riesgos de duración y 2 de coste, se incluirán:

- Un apartado para la codificación de las actividades del proyecto (duración y coste).
- Un apartado para la codificación de los riesgos identificados (riesgos de duración y de coste).
- La matriz de precedencias del proyecto, que incluirá los riesgos de duración como actividades.
- La matriz de correlación de riesgos.

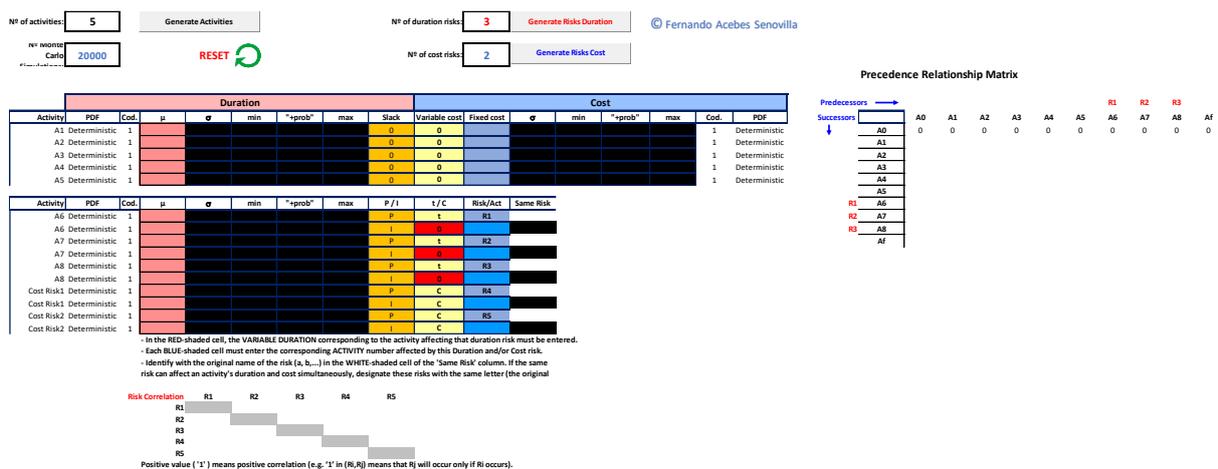


Fig. 1.6 Plantilla base generada para la incorporación de los datos del proyecto. Ejemplo de proyecto con 5 actividades, 3 riesgos identificados de duración y 2 de coste.

Función RESET

En la hoja de cálculo, existe un botón llamado “RESET” que borra toda la tabla y la restablece a su estado inicial (ver Fig. 1.7).

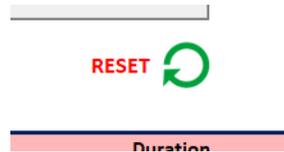


Fig. 1.7 Botón ‘RESET’ de restauración de la Hoja de cálculo

Guardar el archivo

Una vez generada la plantilla base para codificar los datos del proyecto (ver Fig. 1.6), es importante guardar el archivo en formato .xlsx y con el nombre del proyecto (ver Fig. 1.8). De lo contrario, MCSimulRisk no podrá leer los datos.



Fig. 1.8 Instrucción “Guardar como” Libro de Excel (*.xlsx)



Precaución: No guardes ni sobrescribas el archivo .xlsm, ya que se perdería la posibilidad de reutilizarlo como modelo para futuros proyectos.

Si cometiste un error al introducir el número de actividades, riesgos de duración o riesgos de coste, haz clic en “**RESET**” y vuelve a ingresar los datos correctamente. Si no lo haces, las macros podrían no funcionar correctamente, afectando la generación de las tablas para definir el proyecto.

1.2 Definir actividades y riesgos

Ahora disponemos de un archivo base en formato *Hoja Excel (.xlsx)* en el que codificaremos toda la información del proyecto. En el apartado anterior, generamos este archivo a partir del número de actividades y de los riesgos de duración y coste. En esta sección, introduciremos toda la información correspondiente a estas variables (actividades y riesgos).

Comenzaremos por introducir los datos de duración de las actividades del proyecto. Para ilustrar el proceso, utilizaremos un **proyecto ejemplo** que clarifique cada uno de los pasos a seguir.

1.2.1 Definición del Proyecto Ejemplo

El proyecto ejemplo consta de **5 actividades** (ver Tabla 1.1). Cada actividad se identifica por su **duración** y su **coste**, los cuales pueden estar sujetos a incertidumbre. Esto significa que tanto la duración como el coste pueden tomar valores aleatorios según una función de distribución que deberá ser codificada en nuestra Hoja Excel.

Tabla 1.1 Definición de las actividades del proyecto: duración y coste

Id Actividad	Precedentes	Duración (u.t.)					Coste variable u.m./u.t.	Coste (u.m.)					
		Tipo pdf	Parámetros	P ₁	P ₂	P ₃		Tipo pdf	Parámetros	P ₁	P ₂	P ₃	
A0 (inicio)													
A1	-	Normal	(μ, σ)	6	0,8		85	Determinista	μ	110			
A2	-	Determinista	μ	14			100	Determinista	μ	55			
A3	A1	Uniforme	(min, máx)	5,5	8,5		75	Uniforme	(min, máx)	70	90		
A4	A1	Triangular	(min, +prob, máx)	15	16	23	60	Triangular	(min, +prob, máx)	45	50	55	
A5	A2, A3	Triangular	(min, +prob, máx)	7	9	14	95	Triangular	(min, +prob, máx)	60	65	80	
A6 (final)	A4, A5												

En la Tabla 1.1, las actividades están identificadas por su Id en la primera columna. En la segunda columna se especifica la relación de precedencias de cada actividad, es decir, las actividades precedentes necesarias para iniciar cada una.

Las siguientes columnas describen los datos clave de las actividades. Para cada una, se especifica la función de distribución de probabilidad que define su comportamiento (por ejemplo, distribución normal, uniforme, triangular, etc.). A continuación, se incluyen los parámetros característicos de cada función de distribución. Para una distribución normal, estos parámetros serían el valor medio (μ) y la desviación estándar (σ), mientras que para una distribución uniforme se utilizarían los valores mínimo (min) y máximo (max).

El último grupo de columnas corresponde a los parámetros del **coste** del proyecto. El coste se divide en:

- **Coste variable**, asociado a la duración de la actividad.
- **Coste fijo**, independiente de la duración.

El coste fijo también puede estar sujeto a aleatoriedad, por lo que se incluyen los campos necesarios para codificar esta incertidumbre de manera similar a la duración de la actividad.

En cuanto a las precedencias, el proyecto ejemplo sigue el **diagrama AON** (*Activity On Node*) o grafo del proyecto (ver Fig. 1.9). En este gráfico, se muestran las actividades ficticias A0 (Actividad Inicial) y A6 (Actividad Final), junto con la secuencia de actividades del proyecto.

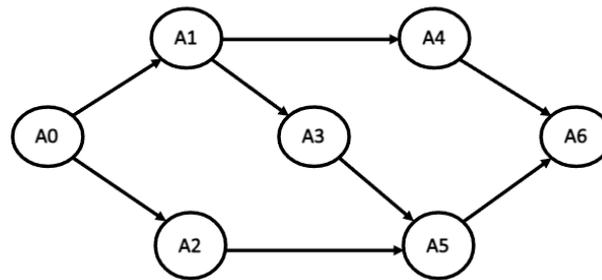


Fig. 1.9 Grafo del proyecto ejemplo

Para completar este ejemplo, consideraremos cuatro riesgos identificados en el proyecto (ver Tabla 1.2). De estos, tres afectan al objetivo de duración (Ra, Rb y Rc), y dos impactan sobre el objetivo de coste (Rb y Rd). El riesgo Rb tiene un impacto tanto en la duración como en el coste del proyecto.

En la Tabla 1.2, además de la descripción e identificación (Id) de cada riesgo, se incluye la actividad impactada, la probabilidad de ocurrencia del riesgo y los posibles impactos. Para cada riesgo, se define una función de distribución de probabilidad (PDF) que modela su comportamiento (normal, uniforme, triangular, etc.), junto con los parámetros que caracterizan dicha función. Por ejemplo, para una distribución normal, los parámetros serían el valor medio (μ) y la desviación estándar (σ), mientras que para una distribución uniforme serían los valores mínimo (min) y máximo (max).

Tabla 1.2 Definición de riesgos identificados en el proyecto

Descripción del Riesgo	Id Riesgo	Actividad Impactada	Probabilidad		Impacto Duración		Impacto Coste	
			PDF	Parámetros	PDF	Parámetros	PDF	Parámetros
-	Ra	A1	Unif.	[0.08 0.25]	Unif.	[2 5]	-	-
-	Rb	A4	Unif.	[0 0.02]	Unif.	[2 5]	Unif.	[230.5 691.50]
-	Rc	A5	Unif.	[0.08 0.25]	Unif.	[0.5 2]	-	-
-	Rd	A2	Unif.	[0.02 0.08]	-	-	Unif.	[230.5 691.50]

En este ejemplo, se han utilizado funciones de distribución de probabilidad uniforme para modelar tanto la probabilidad de ocurrencia de los riesgos como sus posibles impactos en duración y coste.

1.2.2 Incorporación de información sobre duración de la actividad

Una vez definidas las actividades del proyecto, procedemos a introducir los datos en nuestra hoja de Excel '**Pyto_ejemplo.xlsx**'. En esta hoja, las actividades están enumeradas y codificadas (A1, A2, A3, etc.).

Primero, seleccionamos el tipo de función de distribución de probabilidad que representa el comportamiento de la duración de cada actividad (columna '**PDF**' en la Fig. 1.10). Por defecto, todas las actividades están configuradas con una duración determinista (equivalente a una distribución de tipo Bernoulli). Al hacer clic en la celda correspondiente, puedes seleccionar

otra función de distribución entre las siguientes opciones: Determinista, Uniforme, Normal, Triangular, Beta-Pert o Lognormal (ver Fig. 1.10).

Duration								
Activity	PDF	Cod.	μ	σ	min	"+prob"	max	
A1	Normal	3						
A2	Deterministic	1						
A3	Uniform	1						
A4	Triangular	1						
A5	Beta-Pert	1						
	Lognormal							
	Buffer							
Activitv	PDF	Cod.	μ	σ	min	"+prob"	max	

Fig. 1.10 Selección de función de distribución de probabilidad de duración

Una vez seleccionada la función de distribución deseada (en el ejemplo, Normal), verás que el código de la función en la columna 'pdf' se actualiza, y los campos donde debes introducir los parámetros cambian de color. Esto facilita la introducción de los valores correspondientes. En el caso de la actividad A1, seleccionada con distribución Normal, los campos coloreados son los del valor medio (μ) y la desviación estándar (σ).

Siguiendo el ejemplo del proyecto, seleccionamos los distintos tipos de funciones de distribución de probabilidad para todas las actividades y completamos los campos correspondientes, introduciendo los valores numéricos en los campos resaltados (ver Fig. 1.11).

Duration									
Activity	PDF	Cod.	μ	σ	min	"+prob"	max	Slack	Va
A1	Normal	3	6	0,8				0	
A2	Deterministic	1	14					0	
A3	Uniform	2			5,5		8,5	0	
A4	Triangular	4			15	16	23	0	
A5	Triangular	4			7	9	14	0	
Activitv	PDF	Cod.	μ	σ	min	"+prob"	max	P / I	

Fig. 1.11 Plantilla Proyecto Ejemplo con datos de duración de actividades cumplimentados



MCSimulRisk ejecuta las actividades del proyecto bajo la lógica de **Fin a Comienzo** (FC), lo que significa que una actividad sucesora se inicia inmediatamente después de que finaliza su actividad predecesora. El retraso entre estas actividades es 0, es decir, no hay tiempo de espera. En este caso, la **holgura** o **slack** es nula.

Existe una columna llamada '**Slack**' u **holgura**, que por defecto tiene un valor de 0, indicando que la actividad sucesora comienza justo al terminar la predecesora. Sin embargo, puedes modificar esta celda para introducir holguras:

- **Holgura positiva:** Si introduces un valor positivo, se retrasará el inicio de la actividad sucesora respecto al final de su predecesora.

- **Holgura negativa:** Si introduces un valor negativo ($Slack < 0$), la actividad sucesora comenzará antes de que termine la predecesora.

1.2.3 Incorporación de información sobre el coste de la actividad

Una vez definidas las duraciones de las actividades, incluyendo la incertidumbre, procedemos a incorporar los datos de **coste** de cada actividad. El coste se divide en dos componentes: coste variable y coste fijo.

- **Coste variable:** Se mide en unidades monetarias por unidad temporal (**u.m./u.t.**), como por ejemplo €/día. El coste total de una actividad será directamente proporcional a su duración, multiplicado por este factor de coste.
- **Coste fijo:** Este es independiente de la duración de la actividad, es decir, tiene un valor constante sin importar cuánto dure la actividad. Sin embargo, el coste fijo puede ser aleatorio. Si el valor no es determinista y puede variar en función de ciertas condiciones, puedes configurarlo utilizando una función de distribución de probabilidad.

Siguiendo la información del **Proyecto Ejemplo**, incorporamos los datos de coste de las actividades. Para seleccionar la función de distribución de probabilidad que representa el coste fijo de cada actividad, el proceso es similar al de la duración. Seleccionamos la función deseada haciendo clic en la celda '**PDF**' (ver Fig. 1.12).

Cost						
Fixed cost	σ	min	" +prob"	max	Cod.	PDF
					1	Deterministic
					1	Deterministic
					2	Uniform
					4	Triangular
					1	Deterministic

Risk/Act	Same Risk
R1	

Fig. 1.12 Selección de función de distribución de probabilidad de coste

Una vez seleccionada la función de distribución, las celdas correspondientes a los parámetros a introducir se sombrearán automáticamente. Por ejemplo, en la Fig. 1.12, al seleccionar la distribución Triangular para modelar el coste fijo de la actividad A4, se sombrean las celdas para los parámetros min (mínimo), +prob (más probable), y max (máximo), donde debes introducir los valores numéricos. También observarás que se modifica el código (**Cod.**) que identifica la función de distribución, el cual será utilizado internamente por MCSimulRisk.

Una vez introducidos todos los datos de costes del **Proyecto Ejemplo**, el resultado será el mostrado en la Fig. 1.13.

Cost							
Variable cost	Fixed cost	σ	min	"+prob"	max	Cod.	PDF
85	110					1	Deterministic
100	55					1	Deterministic
75			70		90	2	Uniform
60			45	50	55	4	Triangular
95			60	65	80	4	Triangular

Fig. 1.13 Plantilla Proyecto Ejemplo con datos de coste de actividades cumplimentados

1.2.4 Incorporación de relación de precedencias

Para realizar una simulación de Monte Carlo y obtener resultados gráficos y numéricos precisos, no basta con introducir los datos de duración, costes de las actividades y riesgos. Es fundamental identificar cuándo se ejecutan las actividades dentro del proyecto, es decir, su secuencia o relación de precedencias. Esta información se introduce en la aplicación MCSimulRisk mediante la matriz de precedencias, representada en la Fig. 1.4.

La matriz se genera automáticamente al ingresar el número de actividades y el número de riesgos (especialmente los riesgos de duración), siguiendo los pasos iniciales, gracias a una macro específica que realiza esta tarea.



Un **riesgo de duración** que afecta a una actividad se representa como si fuera una actividad adicional colocada en serie tras la actividad impactada. Si el riesgo se materializa, generará un impacto en la duración de la actividad, lo que podría traducirse en un retraso (si es una amenaza) o un adelanto (si es una oportunidad). Este impacto actúa de manera similar a una actividad adicional en la secuencia.

Por lo tanto, al programar la **relación de precedencias** del proyecto, es crucial considerar los riesgos que pueden afectar la duración e incluirlos en la matriz de precedencias.



Un **riesgo de coste** que afecte a una actividad no influye en la relación de precedencias. El coste del proyecto es independiente de su estructura. En cualquier caso, el coste total del proyecto se calcula como la suma de los costes de las actividades, independientemente de su secuencia.

La matriz de precedencias debe incluir los riesgos que impactan en la duración. En el **Proyecto Ejemplo**, mostramos en la Fig. 1.14 cómo se relacionan los riesgos identificados con las actividades que pueden impactar. Por ejemplo, el riesgo Ra (que afecta a la duración) puede impactar en la actividad A1, mientras que el riesgo Rb (que incluye tanto un riesgo de duración como un riesgo de coste) puede impactar en la actividad A4.

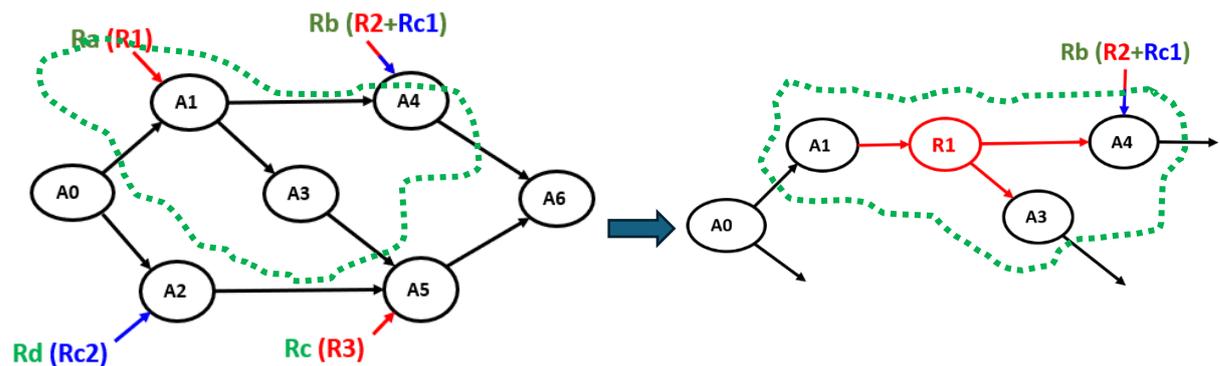


Fig. 1.14 Riesgos incluidos en Proyecto Ejemplo y equivalencia de R1 dentro de la red del proyecto

En la parte derecha de la Fig. 1.14, mostramos la interpretación del riesgo de duración **R1** (que corresponde al riesgo Ra, ya que no tiene componente de coste) dentro de la red del proyecto. Este riesgo nos ayuda a establecer la relación de precedencias de las actividades. El riesgo R1 (que puede impactar en la duración de la actividad A1) se secuencia en serie respecto a la actividad A1, es decir, las actividades sucesoras de A1 tendrán como predecesor al riesgo R1.

Este mismo procedimiento se aplica al resto de los riesgos que impactan en la duración del proyecto, como el riesgo R2 (componente de duración del riesgo Rb) y el riesgo R3 (que coincide completamente con el riesgo Rc).

Es importante recordar que los riesgos de coste, como Rd (o la componente de coste Rc1 en el riesgo Rb), no afectan la secuenciación de las actividades del proyecto.

Con estos condicionantes, procedemos a completar la **matriz de precedencias** mostrada en la Fig. 1.4. Para ello, se colocará un '1' en las celdas correspondientes para identificar las actividades sucesoras y predecesoras de acuerdo con la definición del proyecto.

Utilizaremos la información de la Tabla 1.1, donde se muestran las actividades precedentes, así como el diagrama *Activity On Node* (AON) del proyecto (Fig. 1.14), para completar la matriz.

Ejemplo de relación de precedencias de algunas actividades:

- Para la actividad A1, tanto en la Tabla 1.1 como en la Fig. 1.14, se indica que no tiene predecesoras, por lo que su predecesora es A0 (actividad inicial). Colocamos un '1' en la fila de A1 y en la columna de A0.
- Para la actividad A2, también se indica que su predecesora es la actividad inicial (A0). Colocamos un '1' en la fila de A2 y en la columna de A0.
- Para la actividad A3, la Tabla 1.1 muestra que su predecesora es A1. Sin embargo, el riesgo R1 puede impactar en A1, por lo que el riesgo R1 se convierte en la actividad predecesora de A3. Por tanto, en la matriz de precedencias, colocamos un '1' en la fila de A3 y en la columna de R1 (A6) y, además, un '1' en la fila de R1 (A6) y en la columna de A1, ya que A1 es la predecesora de R1.

Siguiendo este mismo procedimiento para todas las actividades y los riesgos que afectan la duración, completamos la matriz de precedencias, como se muestra en la Fig. 1.15.

Precedence Relationship Matrix

		Predecessors →									
		Precedents						R1	R2	R3	
Successors ↓		A0	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	Af
	A0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	A1	1									
	A2	1									
	A3							1			
	A4							1			
	A5			1	1						
R1	A6		1								
R2	A7					1					
R3	A8						1				
	Af								1	1	

Fig. 1.15 Matriz de precedencias del Proyecto Ejemplo, incluyendo los riesgos identificados

La **matriz de precedencias** se puede interpretar de dos formas: buscando las actividades predecesoras o las actividades sucesoras para cada actividad.

- Para buscar las **actividades predecesoras** de una actividad, revisa las filas de la matriz. Por ejemplo, la actividad A5 tiene como predecesoras a las actividades A2 y A3.
- Para identificar las **actividades sucesoras**, revisa las columnas de la matriz. Las celdas que contengan un '1' indicarán las actividades sucesoras de la actividad correspondiente. Por ejemplo, la actividad A1 tiene como sucesor al riesgo R1 (codificado como A6).

Regla de validación de errores:

- Todas las actividades, incluida la inicial (A0), deben tener al menos una **actividad sucesora**, excepto la actividad final (Af).
- Todas las actividades, incluida la actividad final (Af), deben tener al menos una **actividad predecesora**, excepto la actividad inicial (A0).

1.2.5 Incorporación de riesgos

El siguiente paso es introducir los riesgos en el formato base generado. Al inicio, ingresamos el número de riesgos de duración y riesgos de coste y pulsamos el botón correspondiente para generar estos riesgos (ver Fig. 1.3). Las macros programadas en la hoja de cálculo generan los campos necesarios para incorporar toda la información sobre los riesgos, creando dos filas por cada riesgo identificado, tanto de duración como de coste.



Si un riesgo afecta tanto a la duración como al coste, se dividirá en dos riesgos separados: uno específico para la duración y otro para el coste. Luego, se realizarán los cálculos necesarios para unificar estos impactos como un único riesgo original.

a) Incorporación riesgos de duración

Por cada riesgo de duración identificado, se generan dos filas. La primera fila contiene la información sobre la probabilidad de ocurrencia del riesgo, mientras que la segunda fila recoge el impacto potencial en la duración. En la Fig. 1.16, se muestran las dos filas generadas para un mismo riesgo de duración, junto con los campos que lo definen.

Activity	PDF	Cod.	μ	σ	min	"+prob"	max	P / I	t / C	Risk/Act	Same Risk
A6	Deterministic	1						P	t	R1	
A6	Deterministic	1						I	0		
A7	Deterministic	1						P	t	R2	

Fig. 1.16 Modelo de riesgo de duración y campos en la hoja Excel que lo definen

La primera columna, '**Activity**', hace referencia a la codificación asignada al riesgo de duración. Cada riesgo de duración recibe una numeración consecutiva, que sigue a la última actividad del proyecto. Esta codificación es importante, ya que se utiliza también para completar la matriz de precedencias. Cada riesgo de duración se comporta como una actividad en serie respecto a la actividad sobre la que podría impactar.

En las dos filas generadas para un mismo riesgo, ambas tendrán la misma codificación (por ejemplo, 'A6' en la Fig. 1.16), ya que se refieren al mismo riesgo.

La columna '**PDF**' recoge el tipo de función de distribución de probabilidad que describe el comportamiento del riesgo. La primera fila corresponde a la probabilidad de aparición del riesgo y la segunda fila al posible impacto en la duración. Esta columna está acompañada por '**Cod.**', que asigna automáticamente el código de la función de distribución seleccionada. Al hacer clic en la celda de tipo de función de distribución, se despliega un menú con varias opciones como determinista, normal, uniforme, triangular, entre otras, que permiten representar adecuadamente el comportamiento del riesgo. Por defecto, la hoja de Excel selecciona la función '*Deterministic*', con el código 1, pero puedes elegir una diferente si lo necesitas.

Los campos siguientes contienen los parámetros que definen cada función de distribución seleccionada. Estos campos son los mismos que se utilizan para definir la duración de las actividades (ver Fig. 1.10). Cuando seleccionas una función de distribución, el sombreado de las celdas cambiará para indicar en qué campos debes introducir los valores correspondientes. Por ejemplo, para la función '*Deterministic*' (distribución tipo Bernoulli), se resaltarán los campos 'min' y 'max', que son los necesarios para codificar esa distribución.

El campo '**P/I**' es informativo y señala que la primera fila se refiere a la probabilidad (P) de aparición del riesgo, mientras que la segunda fila contiene información sobre el impacto (I) del riesgo.

El campo **'t/C'** recoge información sobre el coste variable de la actividad impactada por el riesgo. En la fila de probabilidad (primera fila de las dos generadas por cada riesgo), la celda contiene el valor 't', indicando que se trata de un riesgo relacionado con el tiempo o la duración. En la fila de impacto (segunda fila), aparece una celda sombreada en rojo, donde debes introducir el coste variable de la actividad afectada. Este coste puede encontrarse en la definición de costes de las actividades (ver Fig. 1.13).



Es importante recordar que un riesgo que impacta en la duración de una actividad puede aumentar o reducir dicha duración, lo que a su vez afectará el coste variable de la actividad. Un incremento en la duración resultará en un aumento del coste, y una disminución de la duración reducirá el coste.

En el siguiente apartado veremos que este campo **'t/C'** es también informativo en las filas correspondientes a riesgos de coste.

Además, la hoja Excel modelo incluye el siguiente mensaje informativo en la parte inferior de la tabla de introducción de datos de los riesgos: *“In the RED-shaded cell, the VARIABLE DURATION corresponding to the activity affecting that duration risk must be entered.”*

En la columna **'Risk/Act'**, los riesgos se numeran consecutivamente, comenzando con los riesgos de duración, seguidos por los riesgos de coste. La numeración comienza con el riesgo 'R1' (ver Fig. 1.16). Esta numeración se indica en la primera fila de cada riesgo, correspondiente a la probabilidad. En la segunda fila de cada riesgo (donde se muestra el impacto), debes indicar, en la celda azul, el número de la actividad afectada por el riesgo.

En la hoja Excel, también aparece el siguiente mensaje informativo en la parte inferior: *“Each BLUE-shaded cell must enter the corresponding ACTIVITY number affected by this Duration and/or Cost risk.”*

La columna **'Same Risk'** recoge información sobre los riesgos que afectan tanto la duración como el coste del proyecto. Aquí se asigna un código unificado para los riesgos que impactan en ambos objetivos. En la primera fila de cada riesgo (relacionada con la probabilidad), debes asignar un código alfabético (por ejemplo, a, b, c, ...) para nombrar cada riesgo de duración. La codificación comienza con 'a' para el primer riesgo de duración y continúa hasta el último.

Al llegar a los riesgos de coste, si un riesgo afecta tanto a la duración como al coste, se asigna la misma letra a ambos riesgos. Esto permite que el sistema los trate como un solo riesgo. No es necesario introducir información en la segunda fila de esta columna (relacionada con el impacto), ya que esta celda está sombreada en negro.

En la hoja Excel, también aparece el siguiente mensaje informativo: *“Identify with the original name of the risk (a, b, ...) in the WHITE-shaded cell of the 'Same Risk' column. If the same risk can affect an activity's duration and cost simultaneously, designate these risks with the same letter (the original risk).”*

b) Incorporación riesgos de coste

La información para codificar los riesgos de coste es muy similar a la utilizada para los riesgos de duración. Como se muestra en la Fig. 1.17, los campos a completar usan la misma hoja Excel y las mismas columnas.

Activity	PDF	Cod.	μ	σ	min	"+prob"	max	P / I	t / C	Risk/Act	Same Risk
Cost Risk1	Deterministic	1						P	C	R4	
Cost Risk1	Deterministic	1						I	C		
Cost Risk2	Deterministic	1						P	C	R5	

Fig. 1.17 Modelo de riesgo de coste y campos en la hoja Excel que lo definen

Al igual que con los riesgos de duración, se generan dos filas por cada riesgo de coste identificado. Sin embargo, no se asigna un código de actividad, ya que el coste no afecta la relación de precedencias entre las actividades. En cambio, se numeran correlativamente los riesgos de coste (CostRisk).

Debes modelar tanto la **probabilidad** (primera fila) como el **impacto** (segunda fila) del riesgo de coste, seleccionando la función de distribución de probabilidad más adecuada para cada uno. Luego, se completan los parámetros correspondientes para la función seleccionada.

Los campos de las columnas 'P/I' y 't/C' son informativos y no requieren que introduzcas ningún valor. En la columna 'Risk/Act', se selecciona la actividad sobre la que el riesgo de coste puede tener impacto, ingresando el número de actividad en la celda azul. Finalmente, en la columna 'Same Risk', se asigna el código alfabético correspondiente al riesgo identificado. Como se explicó previamente, si un riesgo de coste está asociado a un riesgo de duración ya codificado, se utilizará la misma letra para ambos.

En la Fig. 1.18 se muestra la tabla que recoge la información de los riesgos de duración y de coste para el **Proyecto Ejemplo**, con sus parámetros correspondientes según la Tabla 1.2.

Activity	PDF	Cod.	μ	σ	min	"+prob"	max	P / I	t / C	Risk/Act	Same Risk
A6	Uniform	2			0,08		0,25	P	t	R1	a
A6	Uniform	2			2		5	I	85	1	
A7	Uniform	2			0		0,02	P	t	R2	b
A7	Uniform	2			2		5	I	60	4	
A8	Uniform	2			0,08		0,25	P	t	R3	c
A8	Uniform	2			0,5		2	I	95	5	
Cost Risk1	Uniform	2			0		0,02	P	C	R4	b
Cost Risk1	Uniform	2			230,5		691,5	I	C	4	
Cost Risk2	Uniform	2			0,02		0,08	P	C	R5	d
Cost Risk2	Uniform	2			230,5		691,5	I	C	2	

- In the RED-shaded cell, the VARIABLE DURATION corresponding to the activity affecting that duration risk must be entered.
- Each BLUE-shaded cell must enter the corresponding ACTIVITY number affected by this Duration and/or Cost risk.
- Identify with the original name of the risk (a, b,...) in the WHITE-shaded cell of the 'Same Risk' column. If the same risk can affect an activity's duration and cost simultaneously, designate these risks with the same letter (the original risk).

Fig. 1.18 Modelado de riesgos de duración y coste para el Proyecto Ejemplo

En el **Proyecto Ejemplo**, hemos identificado tres riesgos de duración y dos de coste. Cada riesgo de duración se ha codificado con un número de actividad consecutivo (A6, A7 y A8), comenzando a partir de la última actividad del proyecto (A5).

Hemos modelado tanto la probabilidad como el impacto de los riesgos utilizando funciones de distribución uniforme. Aunque podríamos haber elegido otras distribuciones, esta es adecuada para representar riesgos epistémicos, donde no se conoce con precisión el nivel de probabilidad o impacto, pero se puede estimar un rango dentro del cual podrían variar. Cualquier valor dentro de ese rango tiene la misma probabilidad de ocurrir.

En la columna '**Risk/Act**', se indica la actividad sobre la que puede impactar cada riesgo. En la columna '**t/C**', hemos registrado el coste variable de las actividades afectadas por los riesgos de duración. Por ejemplo, el primer riesgo de duración (A6), que podría impactar sobre la actividad A1, tiene un coste variable de 85 u.m./u.t., y esto se refleja en la columna '**t/C**' y en la segunda fila correspondiente a este riesgo.

Finalmente, la columna '**Same Risk**' muestra que hay cuatro riesgos distintos (Ra, Rb, Rc y Rd). También observamos que el riesgo R2 (codificado como A7) es el mismo riesgo que R4 (Cost Risk1), lo que significa que el riesgo Rb puede afectar tanto al objetivo de duración (R2) como al objetivo de coste (R4).

1.2.6 Cumplimentación Matriz de Correlación

Por defecto, se considera que todos los riesgos identificados son independientes, es decir, no existe ninguna correlación entre ellos. Sin embargo, en algunos casos, podría haber una relación entre riesgos.



La **correlación entre riesgos** en un proyecto se refiere a cómo la ocurrencia de un riesgo puede influir en la probabilidad de que otro riesgo ocurra. Si dos riesgos están correlacionados, la ocurrencia de uno puede aumentar o disminuir la probabilidad del otro. Existen dos tipos principales de correlación:

- **Positiva:** Cuando la ocurrencia de un riesgo aumenta la probabilidad de que ocurra otro riesgo. Por ejemplo, un retraso en la entrega de materiales (riesgo A) puede aumentar el riesgo de sobrecostos (riesgo B) debido a la necesidad de acelerar los trabajos o contratar más personal.
- **Negativa:** Cuando la ocurrencia de un riesgo reduce la probabilidad de que ocurra otro. Por ejemplo, mejorar la capacitación del personal (riesgo C) puede reducir la probabilidad de errores en la ejecución (riesgo D).

Comprender la correlación entre riesgos es crucial para priorizarlos y planificar respuestas más efectivas. Un enfoque en riesgos altamente correlacionados puede prevenir múltiples problemas de manera más eficiente. Para incorporar la correlación en nuestro modelo de simulación, es necesario completar la **matriz de correlación** (ver Fig. 1.19).

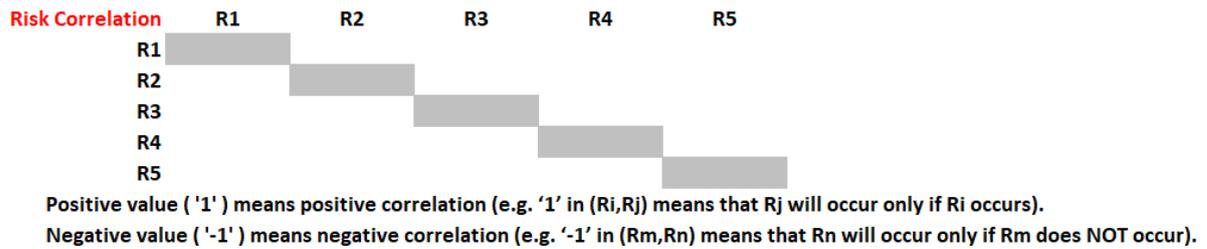


Fig. 1.19 Matriz de correlación de riesgos

En el **Proyecto Ejemplo**, donde los riesgos son independientes, no sería necesario completar la matriz de correlación. MCSimulRisk proporciona una matriz predeterminada para riesgos independientes.

Si existe una correlación positiva entre dos riesgos, debe reflejarse en la matriz marcando con un '1' (positivo) en la celda correspondiente. Por ejemplo, si el riesgo de duración R3 siempre ocurre cuando ocurre el riesgo R1, hay una correlación positiva entre ambos. Para codificar esta relación, se colocaría un '1' en la celda (R1, R3). La parte inferior de la matriz incluye la siguiente leyenda informativa: “Positive value ('1') means positive correlation (e.g. '1' in (Ri,Rj) means that Rj will occur only if Ri occurs).”

Por otro lado, si hay una correlación negativa, es decir, la ocurrencia de un riesgo implica que otro no se producirá, se reflejará en la matriz con un '-1' (negativo). Por ejemplo, si el riesgo de coste R5 NO ocurre cuando ocurre el riesgo R2, hay una correlación negativa entre ellos. En este caso, se colocaría un '-1' en la celda (R2, R5). La leyenda en la parte inferior de la matriz explica: “Negative value ('-1') means negative correlation (e.g. '-1' in (Rm,Rn) means that Rn will occur only if Rm does NOT occur).”



Es importante recordar que la **matriz de correlación** solo refleja la relación entre riesgos, no incluye información sobre probabilidades ni impactos. Esa información se encuentra en la tabla de definición de riesgos. Por ejemplo, si la celda (R1, R3) contiene un '1', significa que el riesgo R3 solo ocurrirá si ocurre R1. La tabla de definición de riesgos especifica que la probabilidad de R3 es P3, y la de R1 es P1. Dado que los eventos son dependientes, la probabilidad final de que ocurra R3 será el producto de ambas probabilidades: $P_f(R3)=P1 \times P3$.

Bloque 2. Comandos MCSimulRisk

En este segundo bloque se explican los comandos y herramientas que ofrece **MCSimulRisk** para realizar un **Análisis Cuantitativo de Riesgos** utilizando la simulación de Monte Carlo en cualquier tipo de proyecto.



Para que la aplicación funcione correctamente y puedas ejecutar la simulación, es necesario cumplir con los siguientes requisitos:

- Tener instalada la versión **Matlab® 2023a**
- Si no tienes Matlab instalado, debes instalar el **Runtime** correspondiente a la versión **Matlab® 2023a**

Además, debes asegurarte de que los siguientes archivos estén en la misma carpeta o directorio (ver Fig. 2.1):

- El archivo ejecutable **MCSimulRisk.exe** (versión 2023a).
- La **hoja de cálculo (.xlsx)** del proyecto que deseas simular.

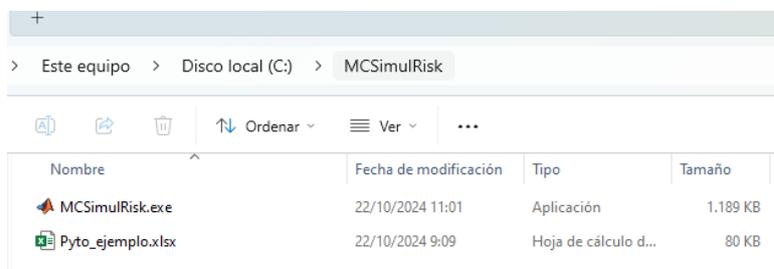


Fig. 2.1 Ejecutable .exe y Proyecto Ejemplo (.xlsx)

Una vez que estos requisitos estén cumplidos, haz doble clic en el archivo MCSimulRisk.exe para iniciar la aplicación. Se abrirá una **pantalla de comandos** que mostrará la primera información relevante. Ten en cuenta que puede haber un pequeño retraso antes de que aparezca el texto.



Paciencia. Ten en cuenta que puede haber un pequeño retraso antes de que aparezca el texto.

Cuando se ejecuta el programa, aparece la pantalla principal de la aplicación (ventana de comandos), que muestra inicialmente un mensaje informativo (ver Fig. 2.2). Junto con esta pantalla, se abrirá una pequeña ventana emergente que te pedirá que introduzcas el nombre

del archivo .xlsx en el que has modelado y guardado tu proyecto para la simulación (ver parte central de Fig. 2.2).

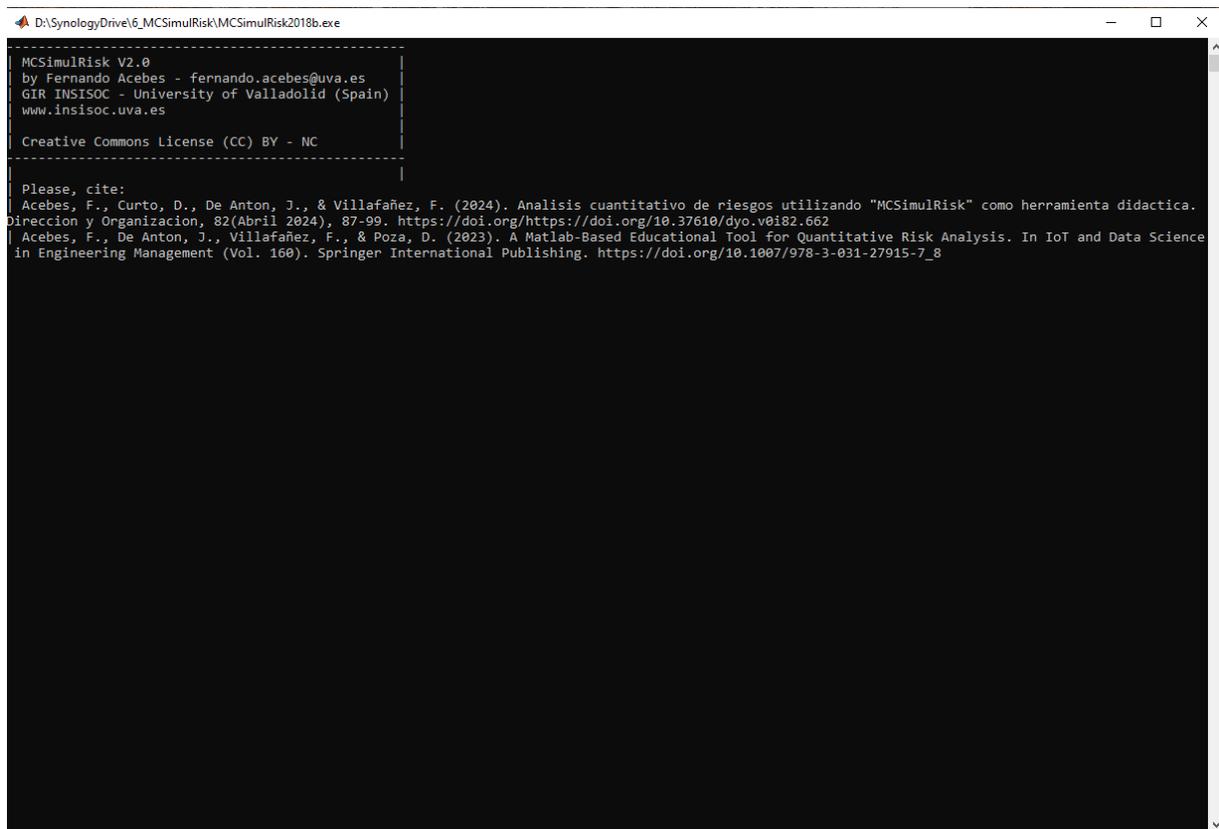


Fig. 2.2 Pantalla principal de comandos junto con ventana de selección de proyecto

Introduce el nombre del archivo .xlsx en el que guardaste el proyecto que deseas simular y haz clic en 'OK' (ver Fig. 2.3).



El nombre ingresado en la ventana emergente (**sin incluir la extensión**) debe coincidir exactamente con el nombre del archivo. Si el nombre no coincide, se generará un mensaje de error automático de Matlab, indicando que no se pudo abrir el archivo debido a un problema con la función de lectura de datos de Excel (por ejemplo, "Imposible abrir el fichero 'nombre_erroneo.xlsx'").

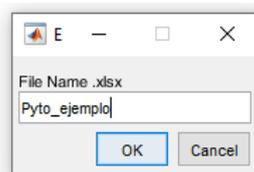


Fig. 2.3 Ventana emergente solicitud de nombre del fichero a simular

Una vez que hayas introducido correctamente el nombre del archivo Excel del proyecto (por ejemplo, para nuestro Proyecto Ejemplo: 'Pyto_ejemplo'), se realizarán los primeros cálculos y aparecerá la siguiente información en pantalla (ver Fig. 2.4):

1. **Matriz de posibles caminos del proyecto (incluyendo riesgos):** Esta matriz muestra las diferentes rutas que pueden existir en el proyecto, considerando los riesgos identificados. Estas rutas no necesariamente representan caminos críticos que determinan la duración máxima del proyecto, sino todas las rutas posibles según la configuración de la red de precedencias del proyecto).
2. **Matriz de posibles caminos del proyecto (SIN incluir riesgos).** Esta matriz excluye los riesgos identificados y muestra las rutas posibles en el proyecto sin considerar esos riesgos, calculando todas las rutas basadas en la red de precedencias de las actividades.

The matrix of possible project paths (including Risks) is

1	6	3	5	8
1	6	4	7	0
2	5	8	0	0

The matrix of possible project paths (without Risks) is

1	3	5
1	4	0
2	5	0

The Serial / Parallel project indicator is: SP = 0.50

The Activity distribution AD indicator is: AD = 0.50

The Topological float TF indicator is: TF = 0.75

The Planned Project Duration is 23 time units

The Planned Project Cost is 4610 monetary units

The mean value of the Project Duration is 25.684

The variance of the Project Duration is 4.110

The mean value of the Project Cost is 4925.695

The variance of the Project Cost is 7.0455e+04

Percentile	Duration	Cost
5.0	22.803	4545.460
10.0	23.244	4613.787
15.0	23.604	4661.990
20.0	23.903	4701.690
25.0	24.193	4737.069
30.0	24.462	4773.346
35.0	24.714	4805.206
40.0	24.964	4836.328
45.0	25.225	4866.874
50.0	25.475	4898.848
55.0	25.743	4930.006
60.0	26.006	4964.429
65.0	26.275	4999.823
70.0	26.577	5038.808
75.0	26.896	5081.789
80.0	27.272	5131.623
85.0	27.724	5187.252
90.0	28.363	5264.721
95.0	29.421	5401.482
100.0	35.854	6632.431

Fig. 2.4 Información inicial del proyecto

3. **Indicadores topológicos de la red.** Los indicadores topológicos proporcionan medidas cuantitativas que describen la estructura y las características de la red del proyecto. Estos indicadores permiten analizar la topología de la red de manera más precisa y objetiva. Algunos de los más comunes son:
 - **Indicador Serie / Paralelo (SP):** Evalúa si la red se asemeja más a una estructura en serie o en paralelo, en una escala de 0 a 1. Si **SP = 0**, todas las actividades son paralelas. Si **SP = 1**, la red es completamente en serie. Valores intermedios indican estructuras mixtas. Este indicador también determina el número máximo de niveles en la red, definido por la cadena más larga de actividades en serie.
 - **Distribución de actividades (AD):** Mide cómo se distribuyen las actividades a lo largo de los niveles de la red, también en una escala de 0 a 1. Si **AD = 0**, las actividades están distribuidas uniformemente en todos los niveles. Si **AD = 1**, un solo nivel concentra el máximo número de actividades, mientras los demás contienen una sola actividad.
 - **Flotación topológica (TF):** Indica cuántos niveles puede desplazarse una actividad sin violar el nivel máximo de la red (definido por SP), en una escala de 0 a 1. Si **TF = 0**, la red es completamente densa y ninguna actividad puede moverse. Si **TF = 1**, hay una cadena de actividades sin flotación, que define el nivel máximo de la red, mientras que las demás actividades tienen la máxima flotación posible.
4. **Valores planificados del proyecto.** Se muestran los valores iniciales planificados para la **duración** y el **coste total** del proyecto.
5. **Estadísticos principales de duración y coste.** Se presentan el **valor medio** y la **varianza** de la duración y el coste total, calculados tras realizar la simulación de Monte Carlo.
6. **Percentiles de duración y coste totales.** Se proporcionan los percentiles de duración y coste total (de 5 en 5), derivados de la simulación de Monte Carlo, para ayudar a evaluar la variabilidad y los riesgos del proyecto.

Además, aparece un **menú principal** en una ventana emergente que muestra todas las opciones disponibles en MCSimulRisk (ver Fig. 2.5).

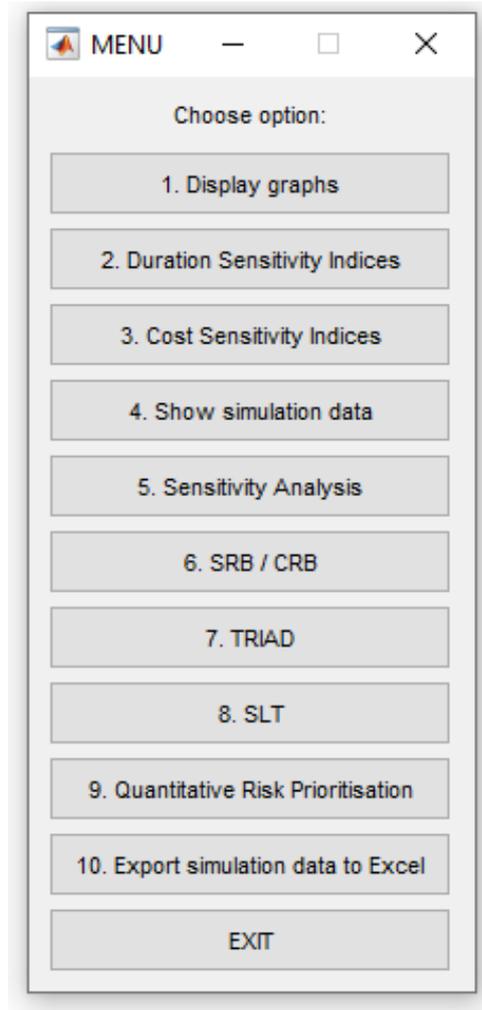


Fig. 2.5 Menú principal MCSimulRisk

En los siguientes puntos de este manual, se explicarán en detalle cada una de las opciones del menú principal de la aplicación. Se describirá el objetivo de cada opción y los resultados gráficos y numéricos que se pueden obtener.

2.1 Display graphs

La primera opción del menú principal, ‘1. Display graphs’, permite generar las principales representaciones gráficas del proyecto. Al hacer clic en ‘1. Display graphs’, se abre un segundo menú desplegable (ver Fig. 2.6) con el título: “Select the graph you want to represent:”, en el que el usuario puede elegir entre las opciones de gráficos disponibles.

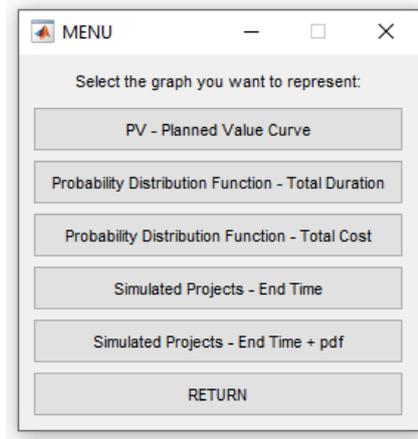


Fig. 2.6 Menú '1. Display graphs'. Opciones disponibles

El menú de representación gráfica ofrece varias opciones que puedes seleccionar:

2.1.1 PV – Planned Value Curve

La **Curva PV (Valor Planificado)** es una representación gráfica esencial en la gestión de proyectos, que muestra la relación entre el tiempo y el coste planificado. También conocida como "curva S" por su forma característica, esta gráfica ilustra el presupuesto acumulado a lo largo del ciclo de vida del proyecto. La Curva PV sirve como línea base para comparar el progreso real con lo planificado, ayudando a los gestores a identificar desviaciones en los costes y el cronograma de manera visual y efectiva (ver Fig. 2.7).

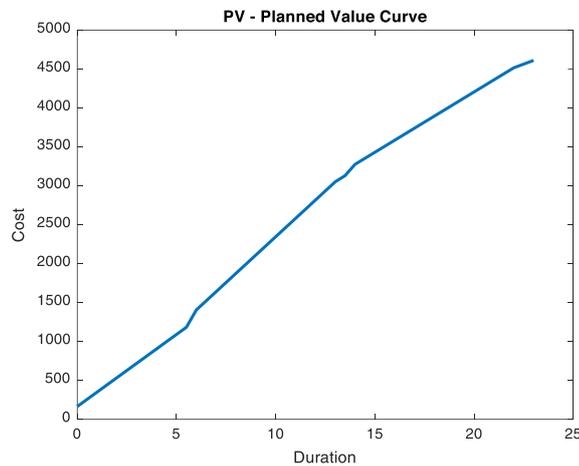


Fig. 2.7 Plan Value (PV) Curve

2.1.2 Probability Distribution Function – Total Duration

La **función de distribución de probabilidad (pdf)** de la duración total del proyecto es un histograma que muestra la frecuencia o probabilidad de distintos tiempos posibles de finalización, basado en múltiples simulaciones. Junto con la **función de distribución**

acumulada (cdf), esta gráfica permite visualizar la probabilidad acumulada de completar el proyecto antes de una fecha específica, facilitando la toma de decisiones relacionadas con los plazos y la gestión de riesgos (ver Fig. 2.8a).

2.1.3 Probability Distribution Function – Total Cost

La **función de distribución de probabilidad (pdf)** del coste total del proyecto es un histograma que muestra la frecuencia o probabilidad de diferentes costes posibles, basado en múltiples simulaciones. Al combinarse con la **función de distribución acumulada (cdf)**, esta gráfica ayuda a visualizar la probabilidad acumulada de ejecutar el proyecto dentro de un presupuesto específico, mejorando la toma de decisiones sobre costes y la gestión de riesgos (ver Fig. 2.8b).

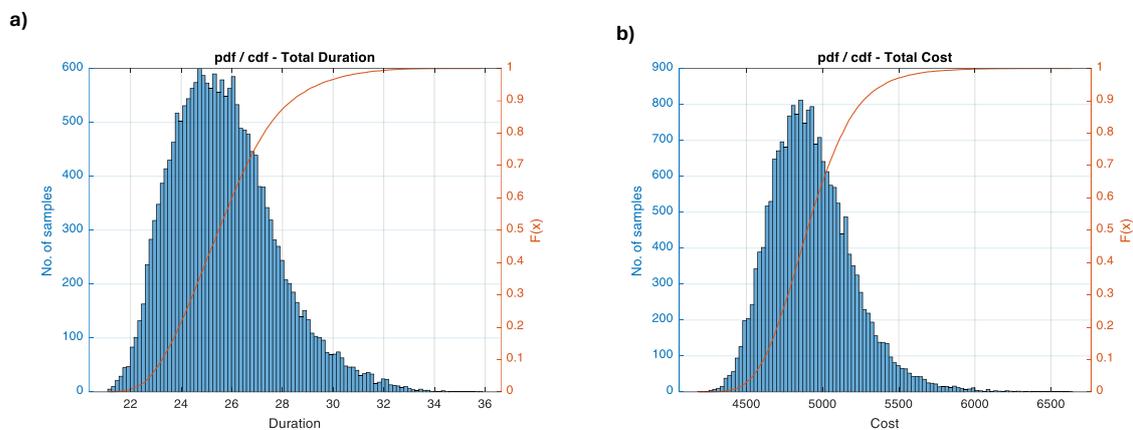


Fig. 2.8 Función de Distribución de Probabilidad (pdf) junto con función de distribución acumulada (cdf). A) Duración Total. B) Coste Total

2.1.4 Simulated Projects – End Time

El **gráfico de dispersión (scatter plot)** de la duración y el coste totales para una serie de proyectos simulados muestra la relación entre ambos factores al final de la ejecución. Cada punto en el gráfico representa un proyecto simulado, con la duración en el eje horizontal y el coste en el eje vertical. Este gráfico permite visualizar patrones o correlaciones entre el tiempo y el coste, ayudando a identificar posibles escenarios de riesgo o desviaciones en futuros proyectos (ver Fig. 2.9a).

2.1.5 Simulated Projects – End Time + pdf

En la **Fig. 2.9b**, además del gráfico de dispersión de tiempo y coste de los proyectos simulados, se incluyen los **histogramas** (funciones de distribución de probabilidad) tanto para la duración total, en el eje de abscisas, como para el coste total, en el eje de ordenadas. Este gráfico permite observar la relación entre la nube de puntos en el espacio cartesiano (duración y coste) y las funciones de distribución correspondientes.

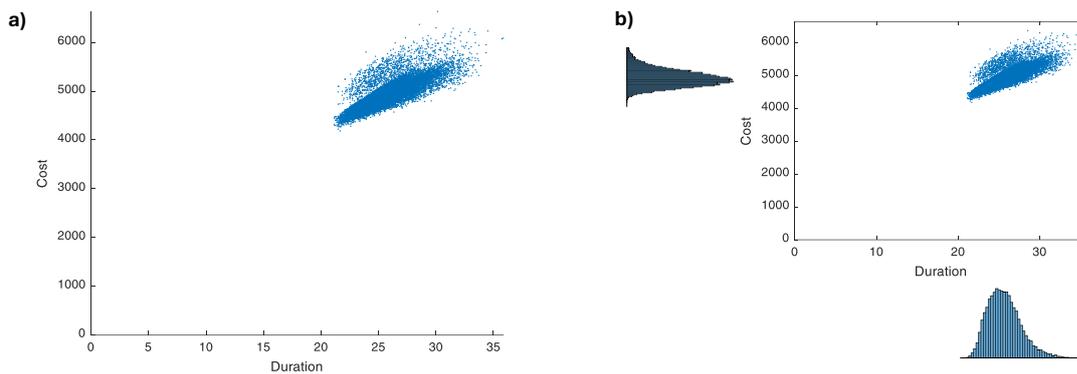


Fig. 2.9 Diagrama de dispersión tiempo – coste. A) Nube de puntos tiempo – coste. B) Incluye funciones de distribución de probabilidad

2.1.6 RETURN

En este menú secundario, hay una opción disponible que permite regresar al menú principal (ver Fig. 2.5).

2.2 Duration Sensitivity Index

La siguiente opción del menú principal es ‘2. *Duration Sensitivity Index*’, que permite calcular y visualizar los principales indicadores de sensibilidad de la duración del proyecto. Al hacer clic en esta opción, se despliega un menú secundario titulado ‘*Select the sensitivity index to display:*’, que muestra las diferentes opciones de indicadores de sensibilidad disponibles (ver Fig. 2.10).

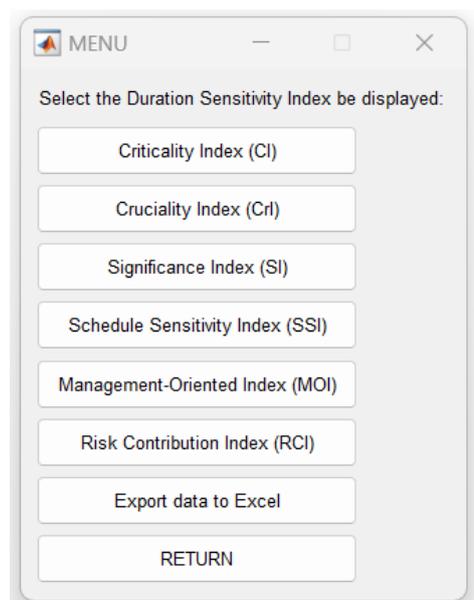


Fig. 2.10 Menú ‘2. *Duration Sensitivity Index*’. Opciones disponibles

Los indicadores de sensibilidad de la duración son herramientas útiles para analizar cómo las distintas tareas afectan la duración total del proyecto. No todas las actividades tienen el mismo impacto en el cronograma, por lo que es esencial identificar aquellas que pueden influir significativamente en el tiempo de finalización. Utilizando simulaciones de Monte Carlo, estos indicadores proporcionan una visión precisa sobre la incertidumbre y el riesgo asociado con la duración del proyecto.

Este análisis es especialmente valioso en proyectos complejos con múltiples dependencias, donde pequeños cambios en una tarea pueden generar desviaciones importantes en el plazo total. Los indicadores de sensibilidad ayudan a los gestores de proyectos a identificar actividades que requieren un control más estricto, optimizando la gestión del cronograma y la toma de decisiones.

A continuación, se describen las opciones disponibles en el menú secundario de indicadores de sensibilidad de duración.



Este manual **NO incluye** las fórmulas de cálculo de los indicadores; se centra en describir cómo MCSimulRisk los presenta y cómo utilizarlos.

2.2.1 Criticality Index (CI)

También conocido como **Índice de Criticidad**, este indicador muestra con qué frecuencia una actividad se encuentra en la ruta crítica del proyecto. Un valor alto indica que la actividad es crítica en la mayoría de los escenarios y que su retraso impacta directamente en la duración total, requiriendo un mayor control (ver Fig. 2.11).

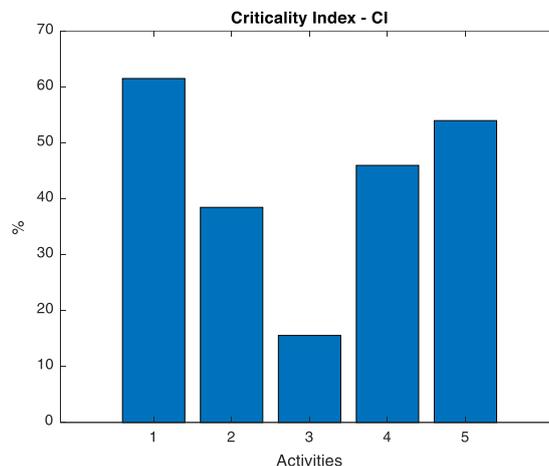


Fig. 2.11 Representación de indicadores para el Proyecto Ejemplo. Índice de Criticidad (CI)

2.2.2 Cruciality Index (Crl)

El **Índice de Crucialidad** mide la correlación entre la duración de una actividad y la duración total del proyecto. Un valor alto significa que cualquier cambio en la duración de esta tarea

tiene un impacto considerable en el cronograma. Este indicador identifica tareas clave que pueden afectar el plazo si se retrasan (ver Fig. 2.12a).

2.2.3 Significance Index (SI)

El **Índice de Importancia** muestra cuán crucial es una actividad para la duración total del proyecto. Evalúa el impacto potencial que un retraso en esa actividad puede tener en el conjunto del proyecto (ver Fig. 2.12b).

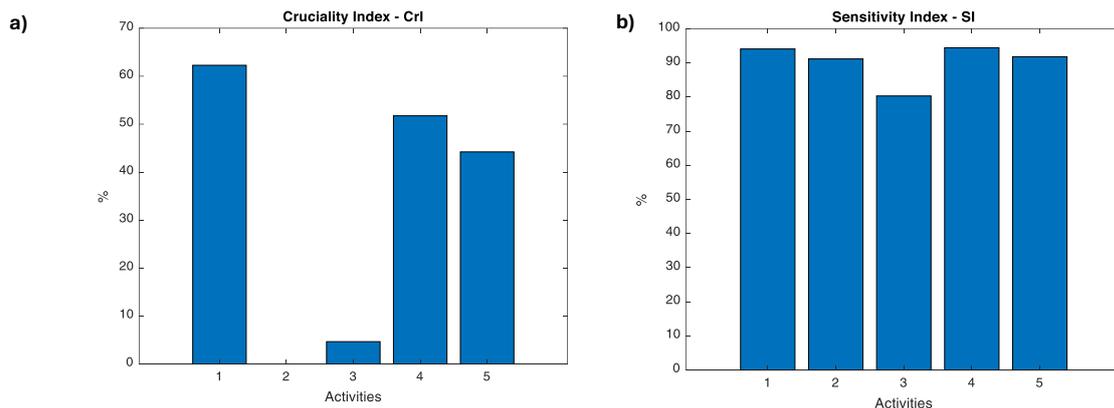


Fig. 2.12 Representación de indicadores para el Proyecto Ejemplo: a) Índice de Crucialidad (Cri). B) Índice de Importancia (SI)

2.2.4 Schedule Sensitivity Index (SSI)

El **Índice de Sensibilidad de Duración** combina la probabilidad de que una actividad esté en el camino crítico con el impacto de su variabilidad en la duración total del proyecto. El SSI es el indicador más realista para priorizar actividades en función de su sensibilidad (ver Fig. 2.13a).

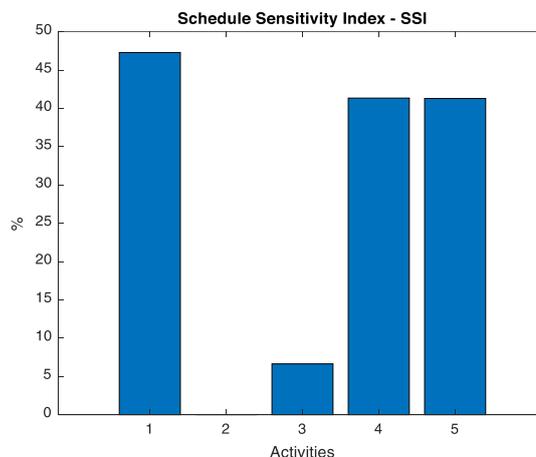


Fig. 2.13 Representación del indicador Schedule Sensitivity Index (SSI) para el Proyecto Ejemplo

2.2.5 Management-Oriented Index (MOI)

El **Management-Oriented Index** evalúa la importancia relativa de una actividad en términos de su impacto en la duración total del proyecto. Este indicador va más allá de la criticidad y considera cómo debe gestionarse una tarea desde una perspectiva estratégica, incorporando información sobre la estructura de la red del proyecto (ver Fig. 2.14).

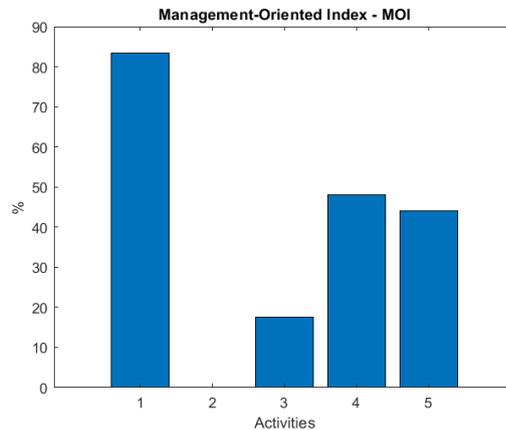


Fig. 2.14 Representación de indicador Management-Oriented Index (MOI) para el Proyecto Ejemplo



Al hacer clic en cualquiera de las opciones del menú ‘2. Duration Sensitivity Index’, la aplicación muestra las gráficas correspondientes en una ventana emergente. Además, en la pantalla se presentan los valores numéricos de cada indicador seleccionado, junto con la representación gráfica.

En la **Fig. 2.15**, se pueden ver los resultados numéricos (en %) mostrados en pantalla para el **Proyecto Ejemplo** después de seleccionar cada uno de los indicadores de sensibilidad.

```
The Criticality Index of the project activities is (CIa1 CIa2 ...):
62.1200  37.9300  15.2500  46.8700  53.1550

The Cruciality Index of project activities is (CrIa1 CrIa2 ...):
61.8107      NaN  6.0313  50.4047  45.4834

The Significance Index (SI) of project activities is (SI1 SI2 ...):
94.0659  91.1450  80.3498  94.4751  91.8237

The Schedule Sensitivity Index (SSI) of project activities is (SSIA1 SSIA2 ...):
48.2077      0  6.5449  42.2612  41.1599

The Management-Oriented Index (MoI) of project activities is (MOIa1 MOIa2 ...):
83.4163      0  17.6503  48.0479  43.9902

The Risk Contribution Index (RCI) of project activities is (RCI1 RCI2 ...):
0.7670      0      0  0.0375  0.2025
```

Fig. 2.15 Resultados numéricos de Indicadores de sensibilidad mostrados en pantalla

2.2.6 Export data to Excel

Esta opción, disponible en el menú ‘2. *Duration Sensitivity Index*’, permite exportar los datos numéricos de todos los indicadores de sensibilidad a una hoja de cálculo de Excel. Disponer de estos datos en un archivo externo facilita su análisis posterior, así como la posibilidad de volver a procesarlos o graficarlos en cualquier momento. No es necesario haber visualizado las gráficas para realizar la exportación.

Al seleccionar esta opción, se genera un archivo Excel llamado “**Ind_sensibilidad.xlsx**”, que contiene los valores de cada indicador (en %) correspondientes a cada actividad del proyecto. El archivo se guarda en la misma ubicación donde se encuentra el ejecutable MCSimulRisk.exe.



Si ya existe un archivo con el nombre “**Ind_sensibilidad.xlsx**” y se intenta exportar de nuevo, aparecerá un mensaje de error en una ventana emergente, indicando que hay un archivo con el mismo nombre en esa ubicación (ver Fig. 2.16).

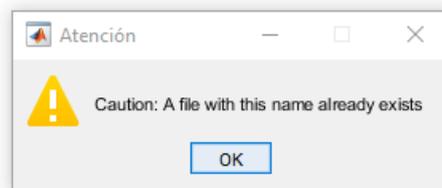


Fig. 2.16 Mensaje de error. Aparece al pulsar la opción de Exportar datos a Excel, existiendo ya un archivo con el mismo nombre

2.2.7 RETURN

Esta opción del menú secundario permite regresar al menú principal (ver Fig. 2.5).

2.3 Cost Sensitivity Index

La siguiente opción del menú principal, ‘3. **Cost Sensitivity Index**’, se utiliza para calcular y representar los principales indicadores de sensibilidad del coste del proyecto. Al hacer clic en esta opción, se despliega un menú secundario titulado ‘**Select the cost sensitivity index to display:**’, que muestra las diferentes opciones de indicadores de sensibilidad disponibles (ver Fig. 2.17).

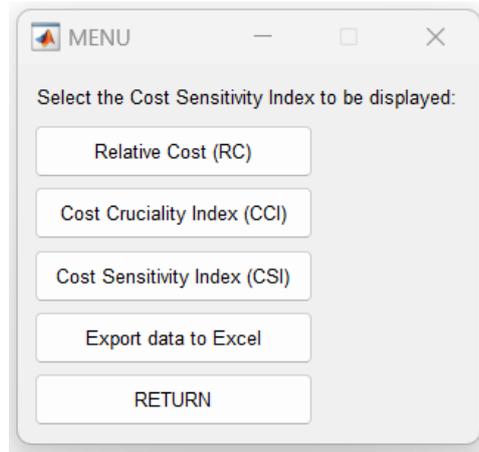


Fig. 2.17 Menú '3. Cost Sensitivity Index'. Opciones disponibles

Los **indicadores de sensibilidad relativos al coste del proyecto** permiten analizar cómo las variaciones en las actividades individuales afectan el coste total del proyecto. Estos indicadores son esenciales para identificar qué tareas o componentes tienen un mayor riesgo de generar sobrecostos y, por lo tanto, requieren una gestión más estricta. Al igual que los indicadores de sensibilidad de duración, estos se calculan a través de simulaciones, como el análisis de Monte Carlo, para evaluar múltiples escenarios de variabilidad en los costes.

Sin embargo, hay una diferencia clave: el coste total del proyecto se obtiene como la suma de los costes de todas las actividades, independientemente de su ubicación en la red de actividades, lo que elimina el concepto de un "camino crítico" en términos de coste.

A continuación, se describen las opciones disponibles en el menú secundario de indicadores de sensibilidad de coste:

2.3.1 Relative Cost (RC)

También conocido como **Coste Relativo**, este indicador muestra la importancia de cada actividad en función de su contribución al coste total del proyecto. Mide cuánto representa el coste de una actividad en comparación con el coste total. Una actividad con un coste relativo alto implica una inversión significativa en esa tarea, lo que requiere una gestión cuidadosa debido a su impacto en el presupuesto general (ver Fig. 2.18a).

2.3.2 Cost Cruciality Index (CCI)

El **Índice de Crucialidad de Coste** mide la correlación entre el coste de una actividad y el coste total del proyecto. Este índice refleja cuánto afectan las variaciones en el coste de una tarea específica al presupuesto general. Un valor alto en el CCI indica que cualquier desviación en el coste de esa tarea (ya sea un aumento o disminución) tendrá un impacto considerable en el coste total del proyecto (ver Fig. 2.18b).

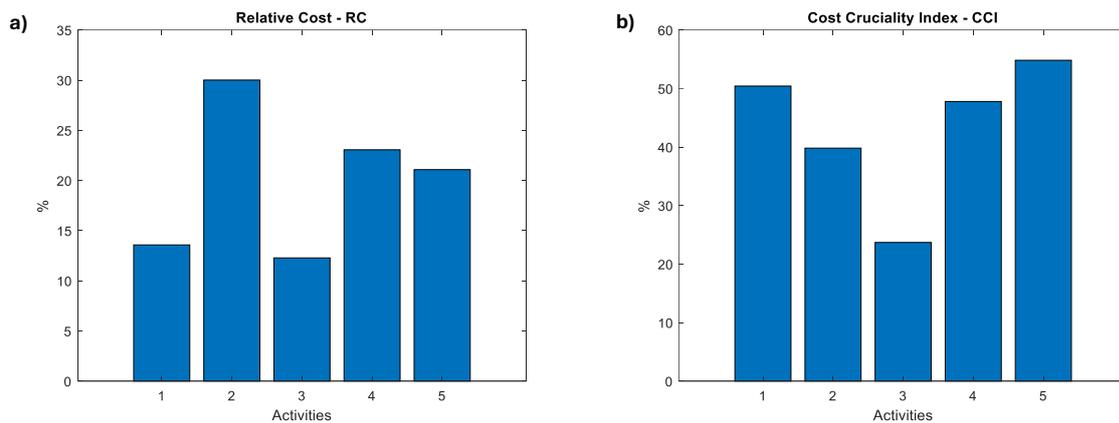


Fig. 2.18 Representación de indicadores de coste para el Proyecto Ejemplo: a) Relative Cost (RC). B) Cost Cruciality Index (CCI)

2.3.3 Cost Sensitivity Index (CSI)

También conocido como **Índice de Sensibilidad de Coste**, este indicador se define de manera similar a los indicadores de programación. El **Cost Sensitivity Index (CSI)** combina el **coste relativo de una actividad (RC)** con su **variabilidad**. Se calcula ponderando el coste relativo de la actividad con la relación entre la desviación estándar del coste de la actividad y la desviación estándar del coste total del proyecto (ver Fig. 2.19).

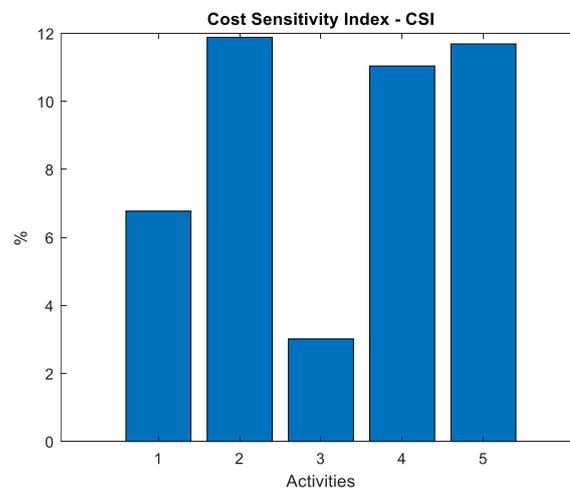


Fig. 2.19 Representación del indicador Cost Sensitivity Index (CSI) para el Proyecto Ejemplo



Al hacer clic en cualquiera de las opciones del menú '3. Cost Sensitivity Index', la aplicación muestra las gráficas correspondientes en una ventana emergente. Además, se presentan en pantalla los valores numéricos de cada indicador junto con la gráfica.

En la Fig. 2.20, se muestra el resultado numérico (en %) para el **Proyecto Ejemplo** tal como aparece en la pantalla de la aplicación después de seleccionar cada indicador de sensibilidad.

```
The Relative Cost Index of project activities is (RCa1 RCa2 ...):
  13.5948   29.9836   12.2709   23.0588   21.0919

The Cost Cruciality Index of project activities is (CCIA1 CCIA2 ...):
  50.1770   37.8379   25.0722   47.6103   55.3352

The Cost Sensitivity Index of project activities is (CSIA1 CSIA2 ...):
  6.8412   11.6949   3.0263   11.0202   11.8369
```

Fig. 2.20 Resultados numéricos de Indicadores de sensibilidad de coste mostrados en pantalla

2.3.4 Export data to Excel

El menú secundario ‘3. Cost Sensitivity Index’ incluye la opción de exportar los datos numéricos de todos los indicadores de sensibilidad de coste a una hoja de Excel. No es necesario haber visualizado las gráficas para realizar la exportación. Al seleccionar esta opción, se crea un archivo Excel llamado “**Ind_sensibilidad_coste.xlsx**”, que contiene los valores de cada indicador (en %) para cada actividad del proyecto. El archivo se guarda en la misma ubicación donde se encuentra la aplicación **MCSimulRisk.exe**.



Si ya existe un archivo con el nombre “**Ind_sensibilidad_coste.xlsx**” y se intenta exportar de nuevo, aparecerá una ventana emergente con un mensaje de error indicando que hay un archivo con el mismo nombre en esa ubicación.

2.3.5 RETURN

Esta opción permite volver al menú principal (ver Fig. 2.5).

2.4 Show simulation data

La siguiente opción del menú principal permite realizar cálculos para determinar la **duración y el coste totales** para un percentil específico o, a la inversa, calcular el percentil correspondiente a una duración o coste total dados. Para acceder a esta funcionalidad, haz clic en ‘4. Show simulation data’ en el menú principal. Al hacerlo, se desplegará un menú secundario con el título ‘Select the desired option to be calculated:’, que presenta las diferentes opciones de cálculo disponibles (ver Fig. 2.21).



Aunque la aplicación proporciona información sobre las duraciones y costes totales para todos los quintiles (percentiles múltiplos de cinco) (ver Fig. 2.4), es posible que necesites estos valores o sus inversos para otros percentiles específicos. Esta opción facilita la obtención de esos resultados.

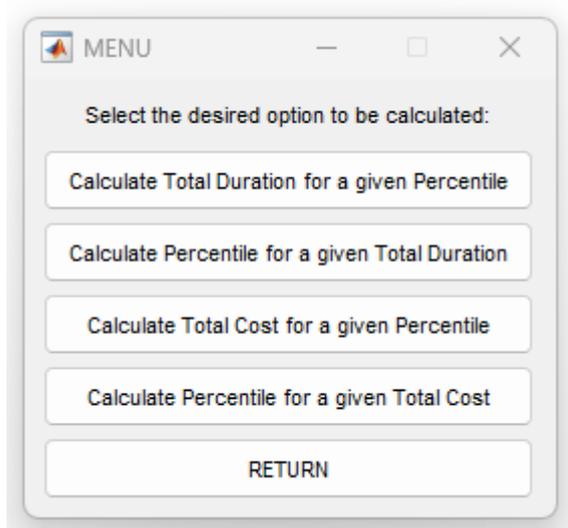


Fig. 2.21 Menú '4. Show simulation data'. Opciones disponibles

2.4.1 Calculate Total Duration for a given Percentile

Calcula la duración total del proyecto para un percentil especificado. Al seleccionar esta opción, aparece una ventana emergente que solicita el percentil deseado (ver Fig. 2.22a). Introduce el percentil en % (por ejemplo, '73'), y al hacer clic en 'OK', se muestra la duración total en unidades temporales (u.t.) (por ejemplo, 26.764 u.t.) (ver Fig. 2.22b).

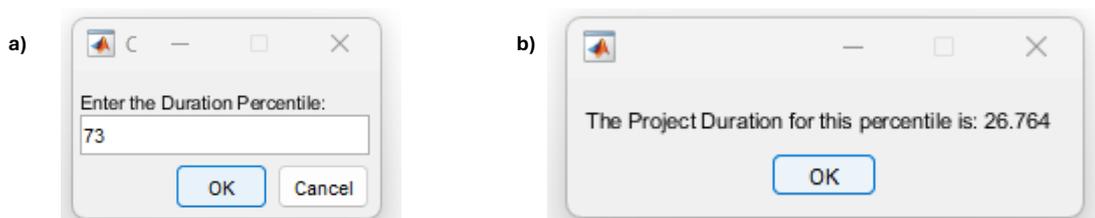


Fig. 2.22 Cálculo de duración para un determinado percentil: a) Ventana introducción de dato objetivo. B) Ventana de resultado

2.4.2 Calculate Percentile for a given Total Duration

Calcula el percentil correspondiente a una duración total del proyecto especificada. Al seleccionar esta opción, aparece una ventana emergente solicitando la duración total (ver Fig. 2.23a). Introduce la duración en u.t. (por ejemplo, '27'), y al hacer clic en 'OK', se muestra el percentil resultante (por ejemplo, P76.38) (ver Fig. 2.23b).

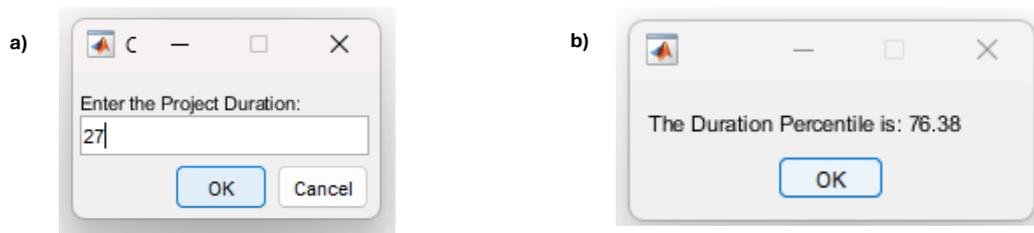


Fig. 2.23 Cálculo del percentil para una duración total determinada: a) Ventana introducción de dato objetivo. B) Ventana de resultado

2.4.3 Calculate Total Cost for a given Percentile

Calcula el coste total del proyecto para un percentil especificado. Al seleccionar esta opción, aparece una ventana emergente solicitando el percentil (ver Fig. 2.24a). Introduce el percentil en % (por ejemplo, '78'), y al hacer clic en 'OK', se muestra el coste total en unidades monetarias (u.m.) (por ejemplo, 5108.843 u.m.) (ver Fig. 2.24b).

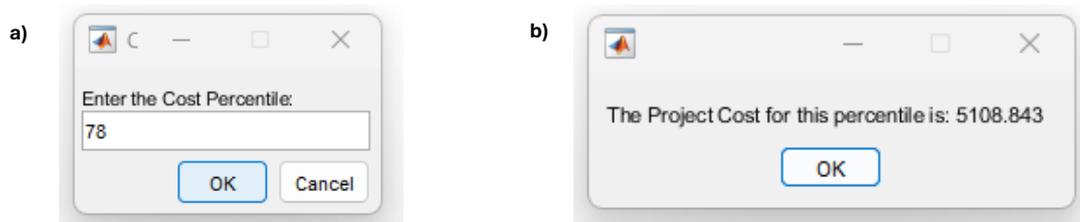


Fig. 2.24 Cálculo del coste total para un determinado percentil: a) Ventana introducción de dato objetivo. B) Ventana de resultado

2.4.4 Calculate Percentile for a given Total Cost

Calcula el percentil correspondiente a un coste total especificado. Al seleccionar esta opción, aparece una ventana emergente solicitando el coste total (ver Fig. 2.25a). Introduce el coste en u.m. (por ejemplo, '5100'), y al hacer clic en 'OK', se muestra el percentil resultante (por ejemplo, P77.03) (ver Fig. 2.25b).

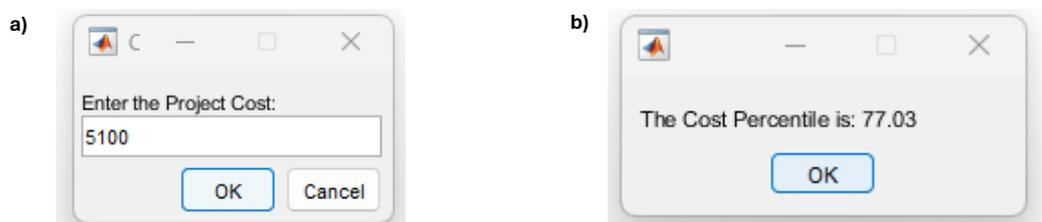


Fig. 2.25 Cálculo del percentil para un coste total determinado: a) Ventana introducción de dato objetivo. B) Ventana de resultado

2.4.5 RETURN

Esta opción permite regresar al menú principal (ver Fig. 2.5).

2.5 Sensitivity Analysis

Un **análisis de sensibilidad** de las actividades del proyecto es una técnica que evalúa cómo los cambios en una o más variables independientes pueden afectar el resultado general del proyecto. Este análisis es fundamental para identificar los factores más críticos que influyen en el desempeño y para evaluar la solidez del proyecto frente a riesgos e incertidumbres.

La opción '5. Sensitivity Analysis' en el menú principal se utiliza para realizar este tipo de análisis. Al seleccionar esta opción, se despliega un menú secundario titulado 'Select the desired Sensitivity Analysis option:', que muestra dos tipos de análisis de sensibilidad que se pueden realizar (ver Fig. 2.26).

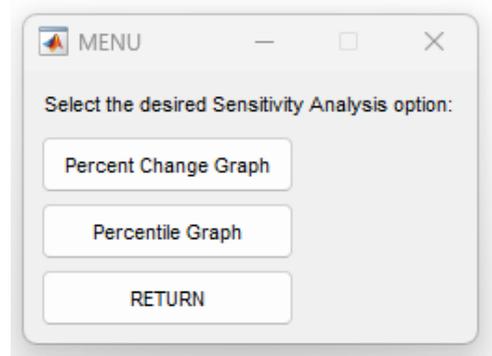


Fig. 2.26 Menú '5. Sensitivity Analysis'. Opciones disponibles

Partiendo del proyecto original, donde la duración y el coste de las actividades están sujetos a incertidumbre y riesgos modelados mediante funciones de distribución de probabilidad, el análisis de sensibilidad se realiza modificando la duración de cada actividad de forma consecutiva, manteniendo sin cambios el resto de las variables. Las duraciones de las actividades se pueden ajustar de dos formas: asignando un nuevo valor basado en un porcentaje del valor original (previamente definido) o utilizando un percentil específico (programado internamente).

2.5.1 Percent Change Graph

En cada simulación, la duración de la actividad se ajusta a un porcentaje de su valor original:

$$d_f A_{i_j} = dA_i \cdot \%_j$$

donde $d_{fA_i j}$ es la duración final de la actividad A_i en la simulación j ; dA_i es la duración original de la actividad A_i y $\%_j$ es el porcentaje aplicado en la simulación j . Los porcentajes utilizados son: $\%_j = \{0.1, 0.25, 0.5, 0.95, 1, 1.05, 1.1, 1.5\}$, en tanto por uno.



La incertidumbre asociada a la actividad modificada se calcula proporcionalmente al nuevo valor de duración.

Al hacer clic en “**Percent Change Graph**” (Fig. 2.26), aparece una ventana emergente solicitando el percentil deseado para el análisis de sensibilidad, además de ofrecer la opción de representarlo para el valor medio. La ventana lleva el título “**Enter the Percentile for Sensitivity Analysis**” (ver Fig. 2.27).



Debido a la incertidumbre inherente a las actividades del proyecto y a los riesgos identificados, puede ser insuficiente analizar solo el valor medio. En algunos casos, es necesario representar los resultados de sensibilidad en un percentil específico para capturar mejor el impacto de las incertidumbres.

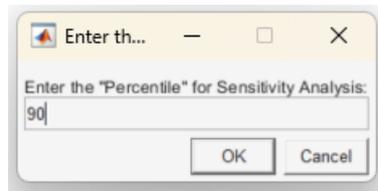


Fig. 2.27 Ventana de introducción del dato ‘Percentil’ para la representación de las gráficas resultado del análisis de sensibilidad

Una vez realizados los cálculos, MCSimulRisk mostrará un nuevo menú secundario (Fig. 2.28).

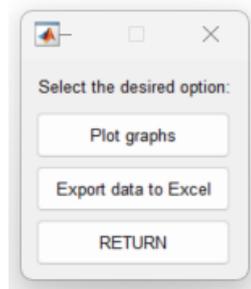


Fig. 2.28 Menú secundario análisis de sensibilidad

Las opciones disponibles incluyen:

- **Plot graphs.** Representa gráficamente los resultados del análisis de sensibilidad. Las gráficas se dividen en dos tipos: **gráfico tipo araña** y **gráfico tipo tornado**.
 - **Gráfico tipo araña:** Muestra visualmente todas las variables en un formato lineal. El eje de abscisas representa la variación porcentual de la duración de la actividad, mientras que el eje de ordenadas muestra la variable de salida (duración total, coste total, desviación estándar). En el gráfico, se observa la evolución de cada variable en relación con las demás.

- **Gráfico tipo tornado:** Representa el impacto de distintas variables en un resultado clave mediante barras. El eje de abscisas muestra la variable de salida (duración o coste total, desviación estándar), y el eje de ordenadas lista cada actividad. El gráfico destaca, para cada actividad, el rango de valores obtenido, proporcionando una visión clara del impacto relativo de cada actividad.

✓ **Gráficos tipo araña (Fig. 2.29):**

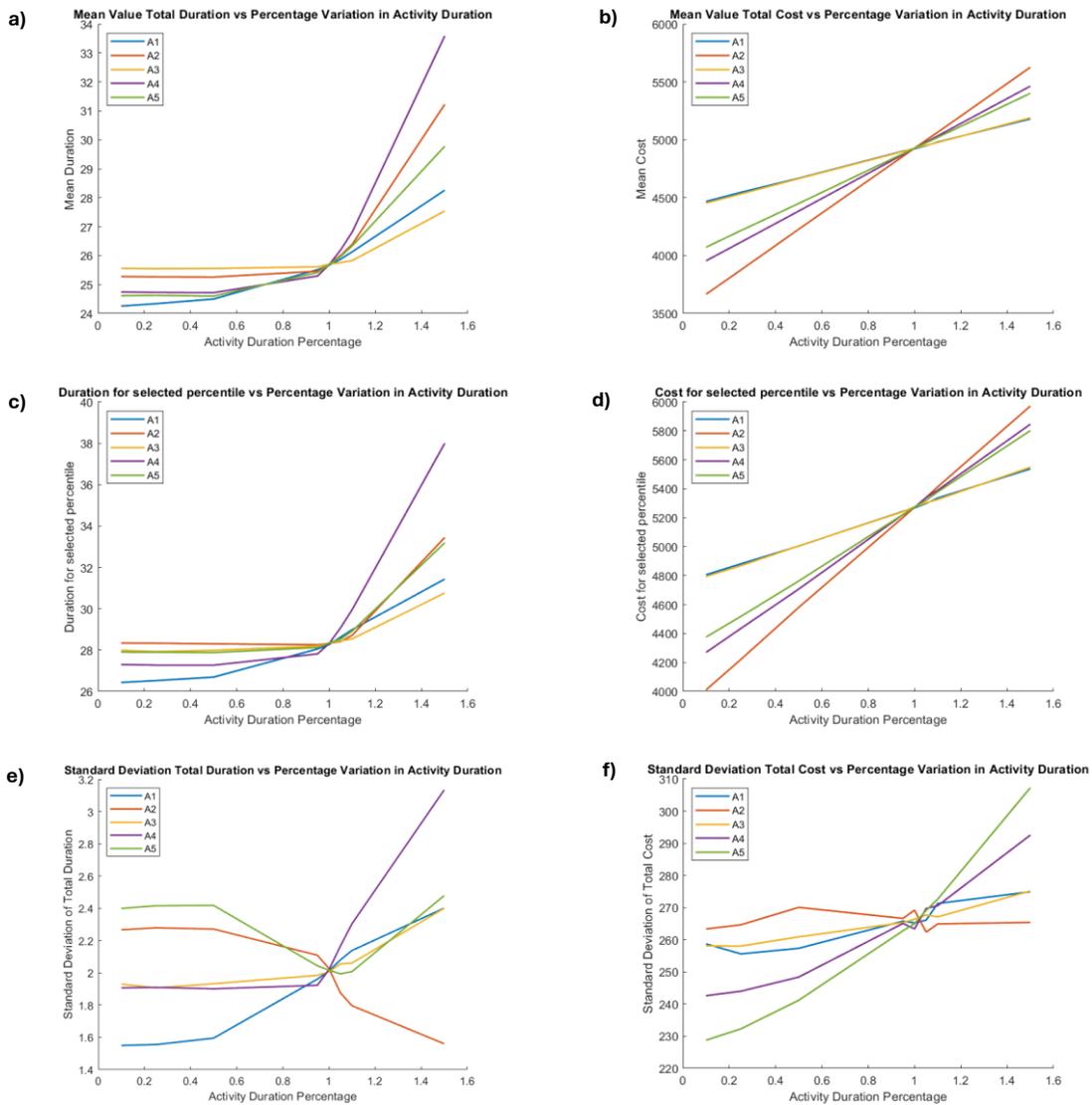


Fig. 2.29 Gráficos araña análisis de sensibilidad “Percent Change Graph”

- Los gráficos que se obtienen son los siguientes:
- * Valor medio de la duración de la actividad / Porcentaje duración actividad (Fig. 2.29 a)
- * Valor medio del coste de la actividad / Porcentaje duración actividad (Fig. 2.29 b)

- * Duración de la actividad en Percentil elegido / Porcentaje duración actividad (Fig. 2.29 c)
- * Coste de la actividad en Percentil elegido / Porcentaje duración actividad (Fig. 2.29 d)
- * Desviación estándar de la duración de la actividad / Porcentaje duración actividad (Fig. 2.29 e)
- * Desviación estándar del coste de la actividad / Porcentaje duración actividad (Fig. 2.29 f)

✓ **Gráficos tipo tornado (Fig. 2.30):**

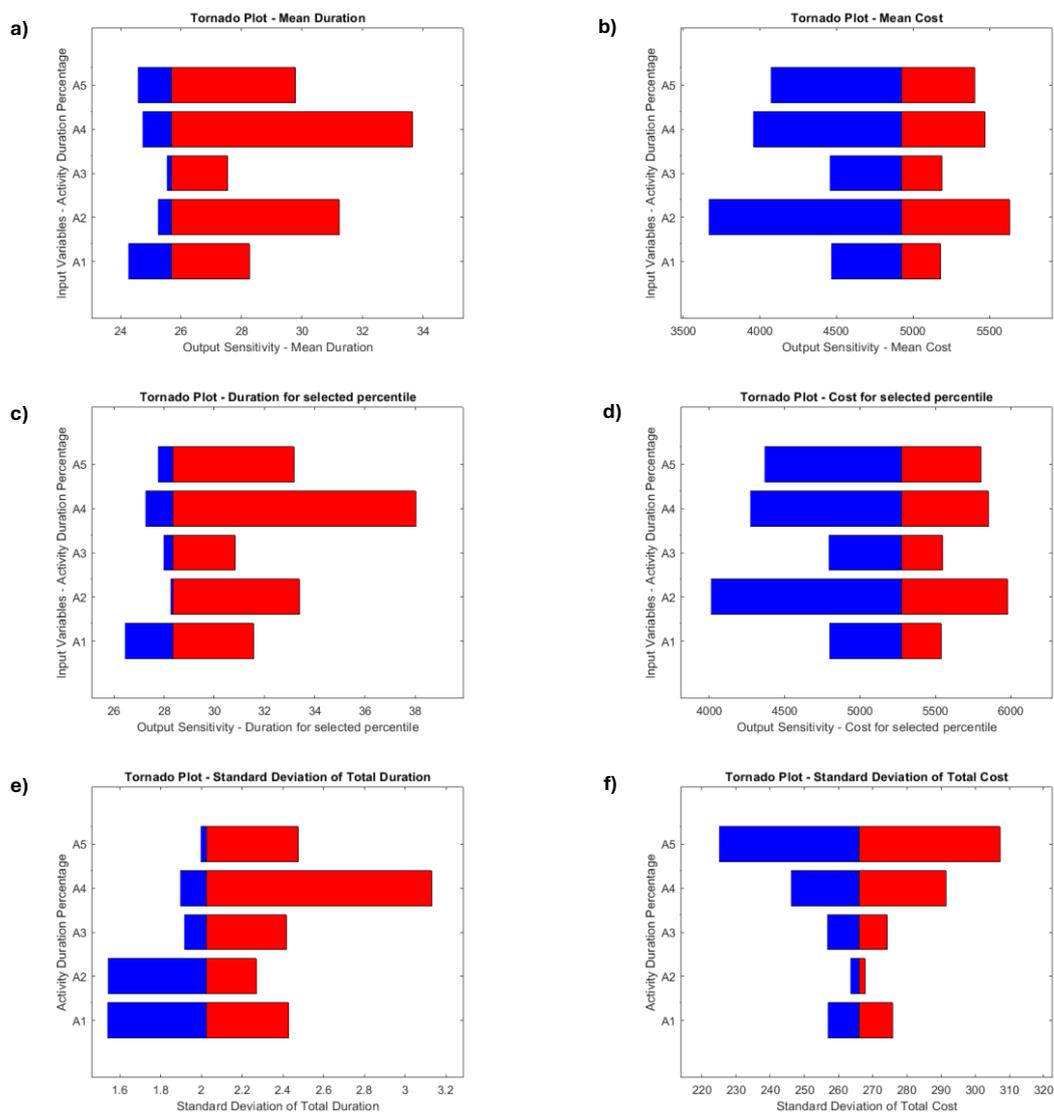


Fig. 2.30 Gráficos tornado análisis de sensibilidad “Percent Change Graph”

Los gráficos tipo tornado disponibles son:

- * Valor medio de la duración de la actividad / Porcentaje duración actividad (Fig. 2.30 a)

- * Valor medio del coste de la actividad / Porcentaje duración actividad (Fig. 2.30 b)
 - * Duración de la actividad en Percentil elegido / Porcentaje duración actividad (Fig. 2.30 c)
 - * Coste de la actividad en Percentil elegido / Porcentaje duración actividad (Fig. 2.30 d)
 - * Desviación estándar de la duración de la actividad / Porcentaje duración actividad (Fig. 2.30 e)
 - * Desviación estándar del coste de la actividad / Porcentaje duración actividad (Fig. 2.30 f)
- **Export data to Excel.** En el menú secundario del análisis de sensibilidad (ver Fig. 2.28), tienes la opción de exportar los datos numéricos del análisis a una hoja de Excel. No es necesario haber visualizado las gráficas para realizar la exportación. Al seleccionar **'Export data to Excel'**, se genera un archivo Excel llamado **"Sen_Analys_percent.xlsx"**, que incluye varias hojas, una por cada gráfica seleccionada, con los datos correspondientes a cada actividad y porcentaje de duración (ver Fig. 2.29 y Fig. 2.30). El archivo Excel se guarda en la misma ubicación donde se encuentra la aplicación **MCSimulRisk.exe**.
-  Si ya existe un archivo con el mismo nombre ("Sen_Analys_percent.xlsx") y se intenta exportar de nuevo, aparecerá una ventana emergente con un mensaje de error indicando que hay un archivo con el mismo nombre en esa ubicación.
- **RETURN.** Esta opción te permite regresar al menú anterior (ver Fig. 2.26).

2.5.2 Percentile Graph

En este análisis, la duración de la actividad se ajusta según un percentil específico del rango de valores resultante de la simulación:

$$d_f A_{i_j} = P_j d A_i$$

donde $d_f A_{i_j}$ es la duración final de la actividad A_i , en la simulación j , y $P_j d A_i$ es el percentil j de la duración de la actividad A_i .

Los valores de percentil fijados, utilizados para modificar la duración original de la actividad A_i en cada simulación j , son: $P_j = \{P1, P5, P10, P25, P50, P75, 9P0, P95, P99\}$.



La incertidumbre asociada a la actividad modificada se calcula proporcionalmente al nuevo valor de duración.

Al hacer clic en **"Percentile Graph"** (ver Fig. 2.26), aparece una ventana emergente solicitando el percentil deseado para el análisis de sensibilidad, además de la opción de

representarlo para el valor medio (ver Fig. 2.27). Tras realizar los cálculos, MCSimulRisk muestra un menú secundario en una nueva ventana emergente (ver Fig. 2.28).

- **Plot graphs.** Los gráficos que se obtienen son los siguientes:

✓ **Gráficos araña (Fig. 2.31):**

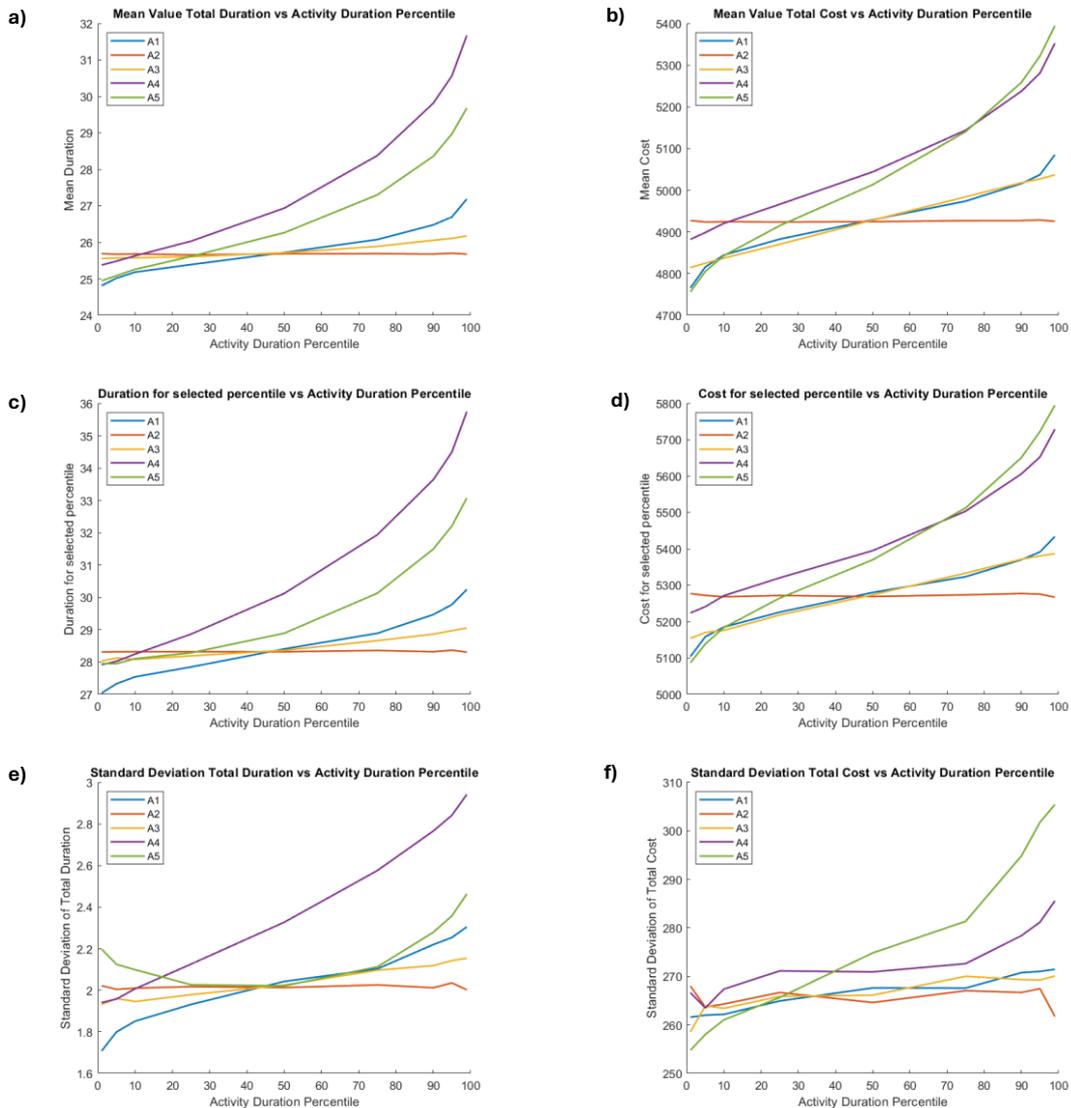


Fig. 2.31 Gráficos araña análisis de sensibilidad “Percent Change Graph”

Las opciones disponibles del nuevo menú son las siguientes:

- * Valor medio de la duración de la actividad / Porcentaje duración actividad (Fig. 2.31 a)
- * Valor medio del coste de la actividad / Porcentaje duración actividad (Fig. 2.31 b)
- * Duración de la actividad en Percentil elegido / Porcentaje duración actividad (Fig. 2.31 c)
- * Coste de la actividad en Percentil elegido / Porcentaje duración actividad (Fig. 2.31 d)

* Desviación estándar de la duración de la actividad / Porcentaje duración actividad (Fig. 2.31 e)

* Desviación estándar del coste de la actividad / Porcentaje duración actividad (Fig. 2.31 f)

✓ **Gráficos tornado (Fig. 2.32):**

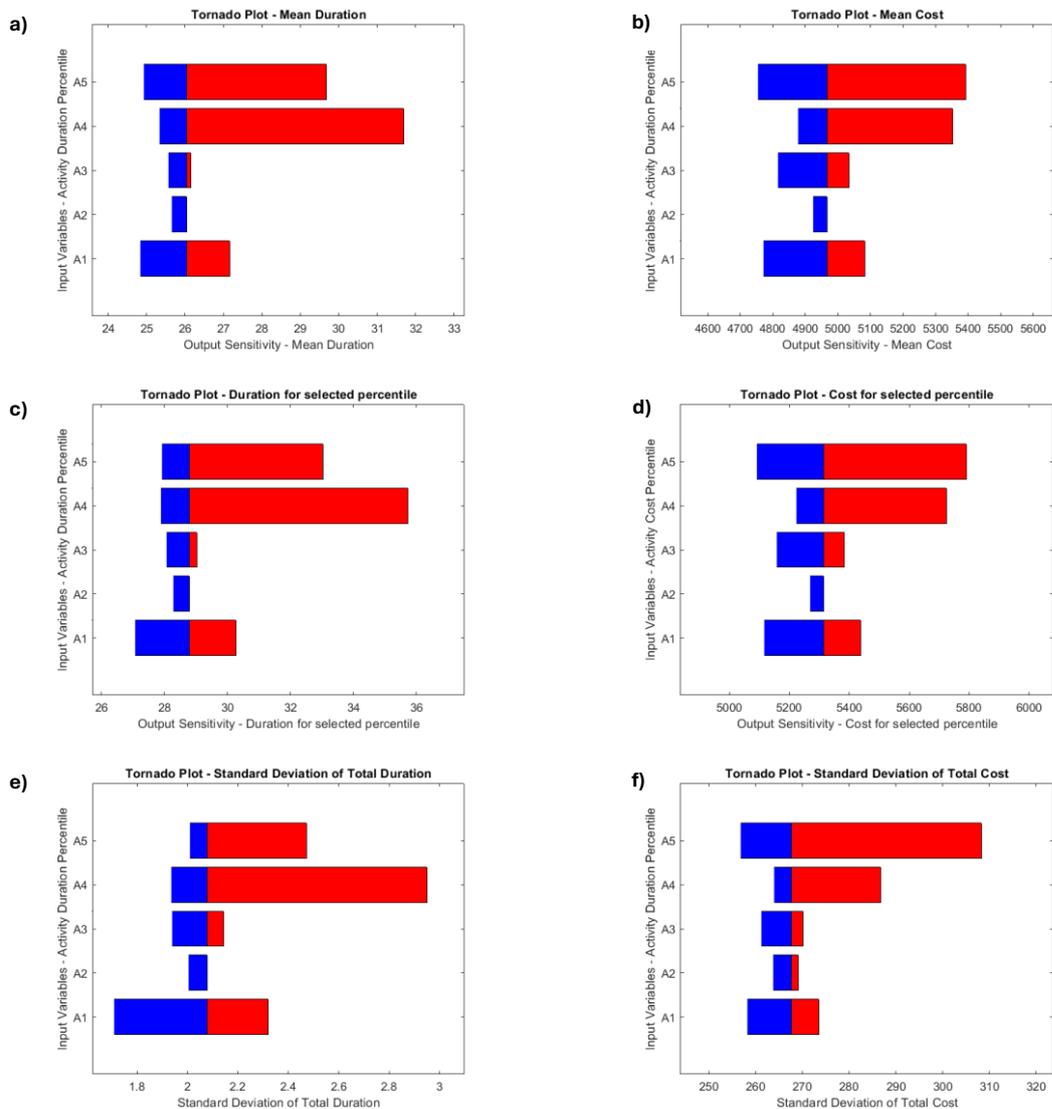


Fig. 2.32 Gráficos tornado análisis de sensibilidad “Percent Change Graph”

Los gráficos tipo tornado disponibles son:

* Valor medio de la duración de la actividad / Porcentaje duración actividad (Fig. 2.32 a)

* Valor medio del coste de la actividad / Porcentaje duración actividad (Fig. 2.32 b)

* Duración de la actividad en Percentil elegido / Porcentaje duración actividad (Fig. 2.32 c)

- * Coste de la actividad en Percentil elegido / Porcentaje duración actividad (Fig. 2.32 d)
- * Desviación estándar de la duración de la actividad / Porcentaje duración actividad (Fig. 2.32 e)
- * Desviación estándar del coste de la actividad / Porcentaje duración actividad (Fig. 2.32 f)
- **Export data to Excel.** En el menú secundario del análisis de sensibilidad (Fig. 2.28), puedes exportar los datos numéricos del análisis a una hoja de Excel. No es necesario haber visualizado las gráficas para realizar la exportación. Al seleccionar esta opción, se genera un archivo Excel llamado “**Sen_Analys_percentile.xlsx**”, que contiene múltiples hojas con los datos correspondientes a cada gráfica seleccionada (ver Fig. 2.31 y Fig. 2.32). Cada hoja incluye los datos relacionados con cada actividad y los porcentajes de duración. El archivo se guarda en la misma ubicación donde se encuentra la aplicación **MCSimulRisk.exe**.
 -  Si ya existe un archivo con el nombre “**Sen_Analys_percentile.xlsx**” y se intenta exportar de nuevo, aparecerá una ventana emergente con un mensaje de error indicando que hay un archivo con el mismo nombre en esa ubicación.
- **RETURN.** Esta opción del menú secundario te permite regresar al menú anterior (Fig. 2.26).

2.5.3 RETURN

Esta opción permite volver al menú principal (Fig. 2.5).

2.6 SRB / CRB

SRB (Schedule Risk Baseline) y **CRB** (Cost Risk Baseline) son líneas base de riesgo propuestas por Pajares y López-Paredes (2011)¹ que representan la evolución del riesgo, medido a través de la varianza, tanto en programación como en coste, conforme avanza el proyecto. Estas curvas se utilizan en la metodología para calcular los indicadores de seguimiento y control de proyectos: **Schedule Control Index (Scol)** y **Cost Control Index (Ccol)**. Estos indicadores permiten gestionar los proyectos teniendo en cuenta la incertidumbre.

Seleccionando ‘6. SRB / CRB’ en el menú principal (Fig. 2.5), puedes representar y obtener los valores numéricos de esta metodología. Al hacer clic en esta opción, aparece una ventana

¹ Pajares, J., & López-Paredes, A. (2011). An extension of the EVM analysis for project monitoring: The Cost Control Index and the Schedule Control Index. *International Journal of Project Management*, 29(5), 615–621. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2010.04.005>

emergente que solicita el intervalo de tiempo para los cálculos, con el valor predeterminado de '1' u.t. (ver Fig. 2.33).

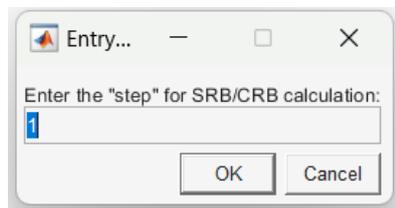


Fig. 2.33 Ventana emergente para solicitar el intervalo de tiempo del cálculo de SRB/CRB

Después de realizar los cálculos, MCSimulRisk muestra un nuevo menú secundario (Fig. 2.34), con opciones para representar las curvas SRB/CRB, exportar los datos a un archivo Excel, o regresar al menú principal.

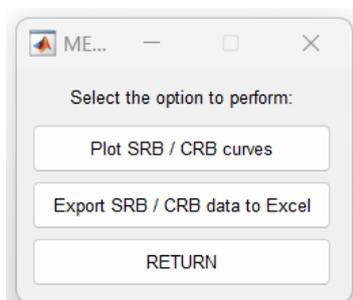


Fig. 2.34 Menú secundario SRB/CRB

2.6.1 Plot SRB/CRB curves

Al seleccionar esta opción, se muestran en pantalla los siguientes indicadores del proyecto (ver Fig. 2.35):

- **Schedule Risk Value (SRV)**. Representa el riesgo total de programación del proyecto planificado, medido como el área bajo la curva SRB. Este valor cuantifica el riesgo en la duración del proyecto mediante la varianza absoluta de la duración total, desde el inicio hasta la finalización según la planificación.
- **Unitary Schedule Risk Value (SRVu)**. Es el valor unitario del riesgo de duración, expresado en tanto por uno. Este indicador permite comparar proyectos de diferente tamaño o nivel de incertidumbre y se calcula dividiendo el SRV por el valor máximo de riesgo de duración del proyecto.
- **Cost Risk Value (SRV)**. Indica el riesgo total de coste del proyecto planificado, también medido como el área bajo la curva CRB. Cuantifica el riesgo en términos de la varianza absoluta del coste total, desde el inicio hasta la finalización según la planificación.

```

Schedule Risk Value (SRV)
46.4028

Unitary Schedule Risk Value (SRVu)
0.5017

Cost Risk Value (CRV)
8.6710e+05

Unitary Cost Risk Value (CRVu)
0.6747

```

Fig. 2.35 Indicadores de riesgo del proyecto relativos al SRB/CRB

- **Unitary Cost Risk Value (SRVu)**. Este es el valor unitario del riesgo de coste del proyecto, expresado en tanto por uno. Sirve para comparar proyectos de distintas magnitudes en términos de duración, coste e incertidumbre. Se calcula dividiendo el **CRV** por el valor máximo del riesgo de coste del proyecto.

Al seleccionar la opción “*Plot SRB/CRB curves*” del menú (Fig. 2.33), se generan las gráficas que muestran la evolución del riesgo de programación (*Schedule Risk Baseline – SRB*) y del riesgo de coste (*Cost Risk Baseline – CRB*) según la ejecución planificada del proyecto (ver Fig. 2.36)

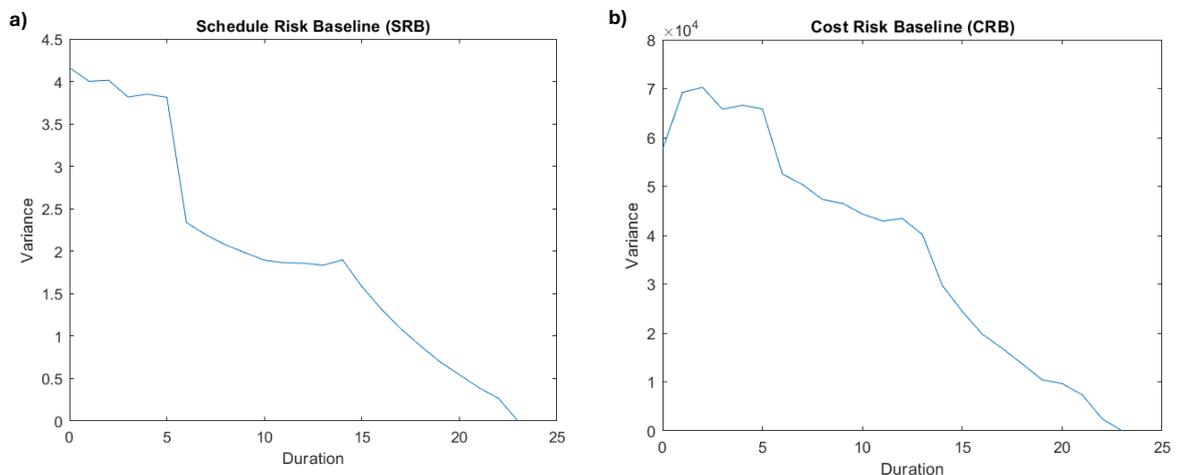


Fig. 2.36 Curvas evolución del riesgo del proyecto: a) *Schedule Risk Baseline - SRB*. b) *Cost Risk Baseline - CRB*

2.6.2 Export SRB/CRB data to Excel

En el menú secundario **SRB/CRB** (Fig. 2.34), también puedes exportar los datos numéricos relacionados con los indicadores de riesgo basados en la metodología **SCoI/CCoI** a un archivo Excel. No es necesario haber visualizado las gráficas para realizar la exportación. Al seleccionar esta opción, se crea un archivo llamado “**SRB_CRB.xlsx**”, que contiene dos pestañas: una con los datos de los indicadores **SRB** y **CRB**, y otra con los indicadores **SRV**,

SRVu, CRV y CRVu. El archivo se guarda en la misma ubicación que la aplicación **MCSimulRisk.exe**.



Si ya existe un archivo con el nombre “**SRB_CRB.xlsx**” y se intenta exportar nuevamente, aparecerá una ventana emergente con un mensaje de error indicando que el archivo ya existe en esa ubicación.

2.6.3 RETURN

Esta opción te permite volver al menú principal (ver Fig. 2.5).

2.7 TRIAD

La opción ‘7. TRIAD’ en el menú principal permite generar representaciones gráficas y numéricas de la metodología **TRIAD**, propuesta por Acebes y otros (2014)². Esta metodología facilita el seguimiento y control de proyectos en entornos inciertos, mejorando la gestión en comparación con metodologías previas.

Al seleccionar esta opción, **MCSimulRisk** realiza los cálculos necesarios y muestra una ventana emergente titulada “*Select the option to perform:*” (ver Fig. 2.37), que te permite elegir entre obtener las gráficas o exportar los datos a un archivo Excel.

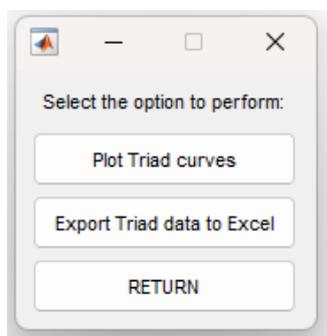


Fig. 2.37 Menú secundario TRIAD

2.7.1 Plot TRIAD curves

Al hacer clic en esta opción, se despliegan las gráficas utilizadas en la metodología TRIAD para el seguimiento y control del proyecto. Dos de estas gráficas se enfocan en la duración del proyecto (ver Fig. 2.38a), mientras que las otras dos se centran en el control del coste (ver Fig. 2.38b).

² Acebes, F., Pajares, J., Galán, J. M., & López-Paredes, A. (2014). A new approach for project control under uncertainty. Going back to the basics. *International Journal of Project Management*, 32(3), 423–434. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2013.08.003>

La Fig. 2.38a muestra las curvas percentiles de la duración del proyecto planificado (P10, P30, P50, P70, y P90), junto con la curva de valor planificado, para cada punto (duración, % de ejecución del proyecto). Durante la ejecución, se posiciona el punto de control del proyecto en curso (duración actual, % de ejecución actual), permitiendo identificar el percentil de ejecución correspondiente.

La Fig. 2.38b presenta el **Time Schedule Variance (TSV)**, un indicador clave de la metodología. El TSV se calcula como la diferencia, en cada % de ejecución, entre el valor del percentil (o del proyecto en ejecución) y el valor planificado. La gráfica muestra las curvas TSV para los percentiles en un diagrama (% de ejecución, TSV). Para controlar el proyecto en tiempo real, se ubica el punto de control en el % de ejecución actual y el valor TSV correspondiente.

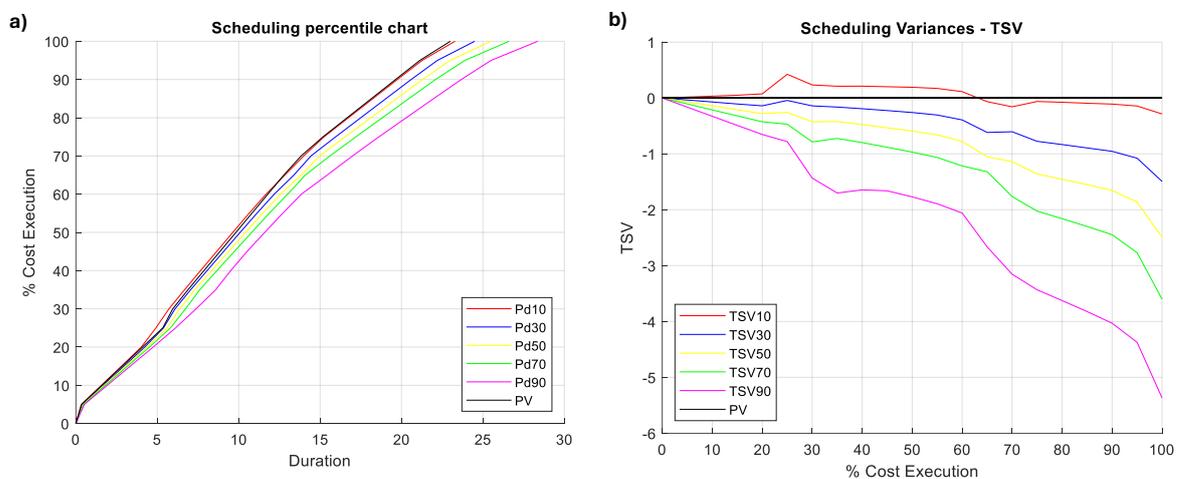


Fig. 2.38 Curvas TRIAD de duración del proyecto: a) Curvas percentiles. b) Curvas TSV

La Fig. 2.39a muestra las curvas percentiles de coste del proyecto planificado (P10, P30, P50, P70 y P90), junto con la curva de valor planificado, para cada par de puntos (% de coste ejecutado, coste total). Durante la ejecución del proyecto, se ubica el punto de control del proyecto en curso (% de ejecución actual, coste actual), lo que permite identificar en qué percentil de coste se encuentra el proyecto en ese momento.

La Fig. 2.39b ilustra el indicador **Time Cost Variance (TCV)**, definido por esta metodología. Este indicador se calcula como la diferencia, en cada % de ejecución, entre el valor del percentil (o del proyecto en curso) y el valor planificado. La gráfica muestra las curvas TCV para los percentiles en el eje (TCV, % de ejecución). Para controlar el proyecto en un instante específico, se posiciona el punto de control en el % de ejecución actual del proyecto en términos de coste, junto con el valor TCV correspondiente.

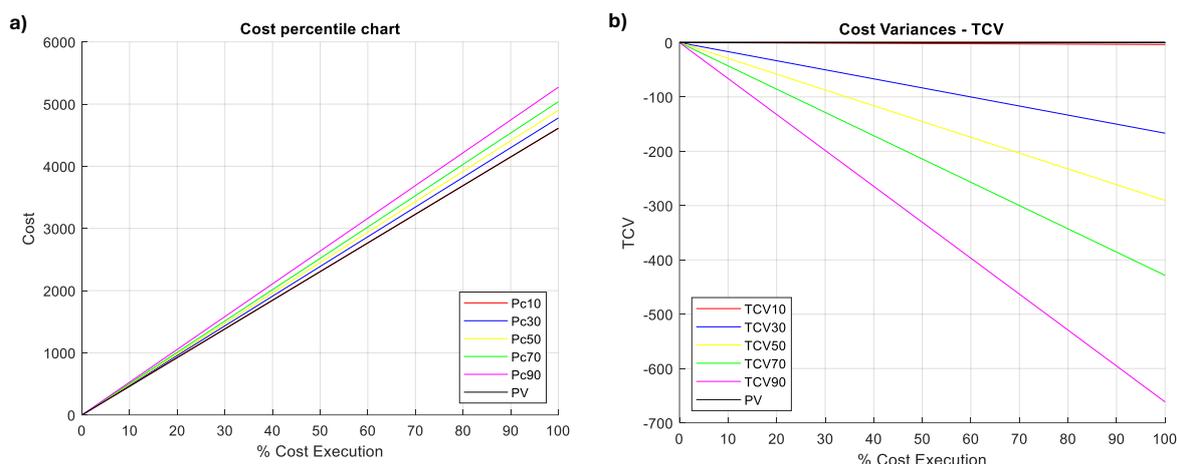


Fig. 2.39 Curvas TRIAD de coste del proyecto: a) Curvas percentiles. b) Curvas TCV

2.7.2 Export Triad data to Excel

En el menú secundario **TRIAD** (ver Fig. 2.37), puedes exportar los datos numéricos de las gráficas e indicadores de la metodología TRIAD a un archivo Excel. No es necesario haber generado las gráficas para realizar la exportación. Al seleccionar esta opción, se crea un archivo Excel llamado "**Triad.xlsx**", que contiene los datos necesarios para representar las gráficas mostradas en las Fig. 2.38 y 2.39 (curvas percentiles de duración y coste, curvas TSV y TCV). El archivo se guarda en la misma ubicación donde se encuentra la aplicación **MCSimulRisk.exe**.



Si ya existe un archivo con el nombre "**Triad.xlsx**" y se intenta exportar de nuevo, aparecerá una ventana emergente con un mensaje de error indicando que el archivo ya existe en esa ubicación.

2.7.3 RETURN

Esta opción permite volver al menú principal (ver Fig. 2.5).

2.8 SLT

La opción '8. *SLT*' en el menú principal proporciona representaciones gráficas y numéricas de la metodología **SLT (Statistical Learning Techniques)**, propuesta por Acebes y otros (2015)³.

³ Acebes, F., Pereda, M., Poza, D., Pajares, J., & Galán, J. M. (2015). Stochastic earned value analysis using Monte Carlo simulation and statistical learning techniques. *International Journal of Project Management*, 33(7), 1597–1609. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2015.06.012>

Esta metodología representa un avance significativo en el seguimiento y control de proyectos en entornos inciertos.

SLT compara los proyectos planificados y simulados en dos momentos: al finalizar el proyecto y en el instante de ejecución actual. Utilizando técnicas avanzadas de machine learning, estas representaciones y datos numéricos permiten identificar el percentil en el que se encuentra el proyecto en ejecución y estimar la duración y el coste final.

Al hacer clic en esta opción, **MCSimulRisk** muestra una ventana emergente solicitando el porcentaje de ejecución actual del proyecto que se desea controlar, con el mensaje: “*Enter the current percentage of project execution.*” (ver Fig. 2.40a). Después de introducir el dato y hacer clic en ‘OK’, aparece una ventana informativa con el coste correspondiente al presupuesto (*Budget At Completion – BAC*) para el % de ejecución introducido (ver Fig. 2.40b).

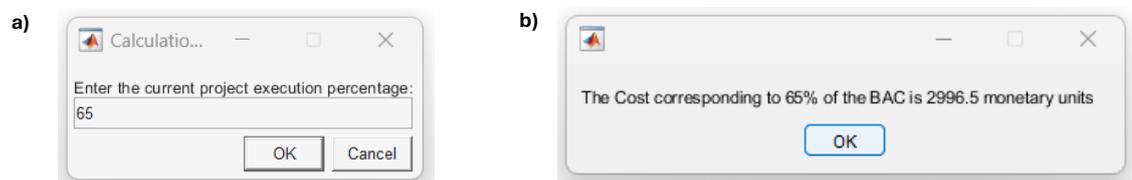


Fig. 2.40 Metodología SLT. a) Introducción de porcentaje de ejecución como dato. B) Ventana emergente resultado

A continuación, y una vez realizados los cálculos, aparece una nueva ventana emergente titulada: “*Select the desired option:*” (ver Fig. 2.41), que permite obtener las gráficas resultado de la metodología o exportar los datos a un archivo Excel.

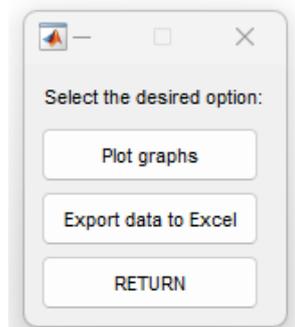


Fig. 2.41 Menú secundario SLT

2.8.1 Plot graphs

Al hacer clic en esta opción, la aplicación muestra las gráficas específicas de la metodología SLT para realizar el seguimiento y control de proyectos (ver Fig. 2.42).

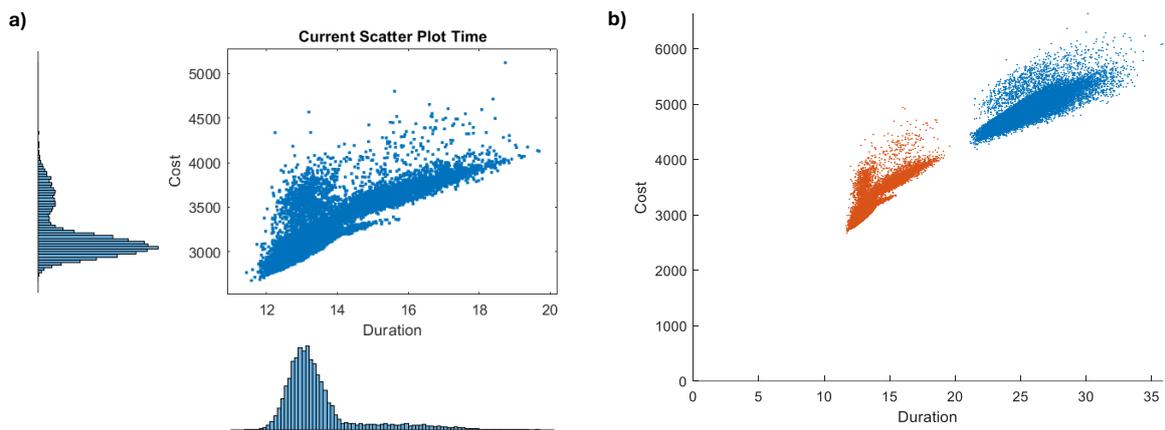


Fig. 2.42 Curvas de la metodología SLT: a) Scatter Plot de proyectos en el instante de control. b) Diagrama de dispersión de proyectos simulados en el instante de control y al finalizar el proyecto. c) Proyectos simulados en el instante de control con y sin retraso. d) Proyectos simulados en el instante de control con y sin sobrecoste

La Fig. 2.42 a) muestra un gráfico de dispersión (*Scatter Plot*) de los proyectos planificados y simulados en el instante de control, correspondiente al % de ejecución del proyecto introducido, en un diagrama cartesiano de Duración-Coste.

La Fig. 2.42 b) compara los proyectos simulados en dos momentos: en el instante de control (nube de puntos en rojo, según el % de ejecución) y al finalizar el proyecto (nube de puntos en azul).

La Fig. 2.43 a) diferencia los proyectos simulados en el instante de control: los que experimentarán un retraso en comparación con la planificación inicial (en rojo) y los que no tendrán retraso (en azul).

La Fig. 2.43 b) distingue los proyectos simulados en el instante de control: aquellos que incurrirán en un sobrecoste respecto a la planificación (en rojo) y aquellos que no (en azul).

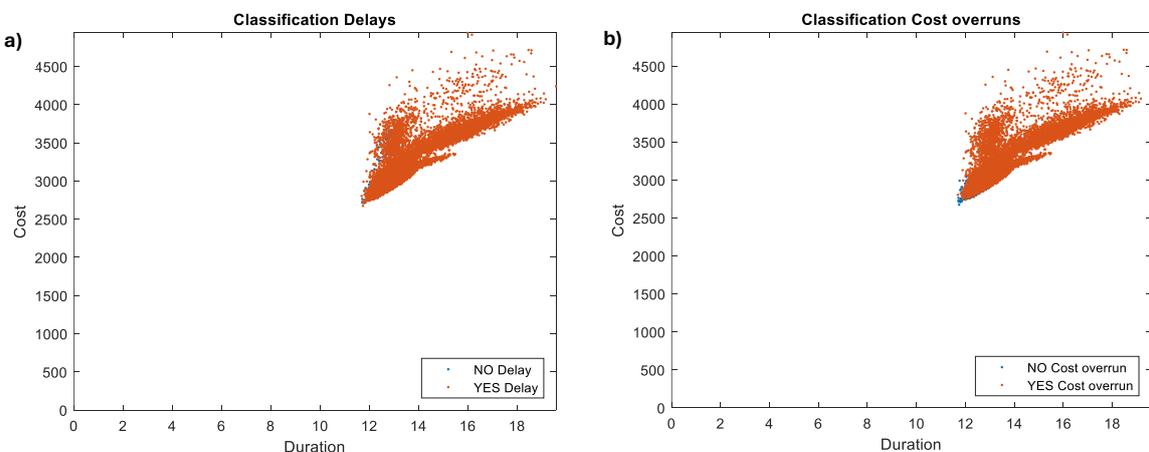


Fig. 2.43 Curvas de la metodología SLT: a) Proyectos simulados en el instante de control con y sin retraso. b) Proyectos simulados en el instante de control con y sin sobrecoste

2.8.2 Export data to Excel

En el menú secundario **SLT** (ver Fig. 2.41), también puedes exportar los datos numéricos relacionados con las gráficas e indicadores de la metodología SLT a un archivo Excel. No es necesario haber generado previamente las gráficas para realizar esta exportación. Al seleccionar la opción **‘Export data to Excel’**, se crea un archivo Excel llamado **“SLT.xlsx”**, que contiene toda la información necesaria para representar las gráficas de la Fig. 2.42.

La **primera pestaña** del archivo Excel incluye los datos de 20,000 simulaciones realizadas por la aplicación, con las siguientes variables: duración y coste en el instante actual de control, duración y coste en el instante final de ejecución, indicador de retraso (1 = sí, 0 = no), indicador de sobrecoste (1 = sí, 0 = no), retraso final (comparado con la planificación), y coste final (comparado con la planificación). La **segunda pestaña** contiene los datos de duración y coste del proyecto real en ejecución. El archivo se guarda en la misma carpeta donde se encuentra la aplicación **MCSimulRisk.exe**.



Se recomienda utilizar estos datos en programas estadísticos, como ‘R’ o ‘Python’, para abordar problemas de clasificación y regresión. Esto permitirá obtener el percentil de ejecución del proyecto real y estimar la duración y el coste totales.



Si ya existe un archivo con el nombre **“SLT.xlsx”** y se intenta exportar de nuevo, la aplicación mostrará un mensaje de error indicando que el archivo ya existe en esa ubicación.

2.8.3 RETURN

Esta opción permite volver al menú principal (ver Fig. 2.5).

2.9 Quantitative Risk Prioritisation

La opción **‘9. Quantitative Risk Prioritisation’** del menú principal (ver Fig. 2.5) permite priorizar los riesgos identificados en el proyecto. En lugar de utilizar una matriz tradicional de probabilidad-impacto, **MCSimulRisk** emplea la metodología **QRP (Quantitative Risk Prioritisation)**, desarrollada por Acebes y otros (2024)⁴, para generar un listado de riesgos priorizados según su relevancia en los objetivos de duración y coste del proyecto.

⁴ Acebes, F., González-Varona, J. M., López-Paredes, A., & Pajares, J. (2024). Beyond probability-impact matrices in project risk management: A quantitative methodology for risk prioritisation. *Humanities and Social Sciences Communications*, 11(1), 670. <https://doi.org/10.1057/s41599-024-03180-5>

Al seleccionar esta opción, la aplicación solicita introducir un percentil para calcular las prioridades. Este valor representa el nivel de aversión al riesgo, ya que las funciones de distribución de probabilidad requieren establecer este nivel para realizar los cálculos. La ventana emergente que aparece en pantalla se titula “*Enter the Percentile for Quantitative Risk Prioritisation*”, donde debes ingresar el percentil deseado (ver Fig. 2.44).

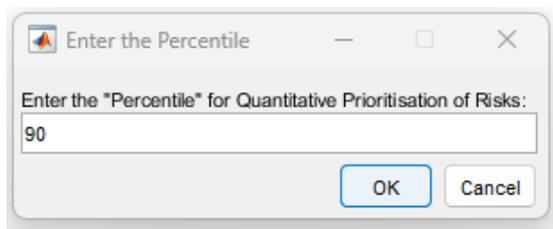


Fig. 2.44 Ventana para la introducción del percentil sobre el que realizar los cálculos

Una vez introducido el percentil y tras hacer clic en ‘OK’, la aplicación muestra la duración y el coste total del proyecto correspondientes a ese percentil (ver Fig. 2.45). Estos datos se utilizan internamente para priorizar los riesgos de manera efectiva.

```
The Project Duration for this percentile is 28.3039  
The Project Cost for this percentile is 5.2674e+03
```

Fig. 2.45 Texto informativo impreso en la pantalla de comandos

Una vez realizados los cálculos, se muestra una ventana emergente con el título: “*Select the desired option:*” (ver Fig. 2.46). Esta ventana permite elegir entre visualizar los resultados de la priorización de riesgos en pantalla o exportar los datos numéricos a un archivo Excel.

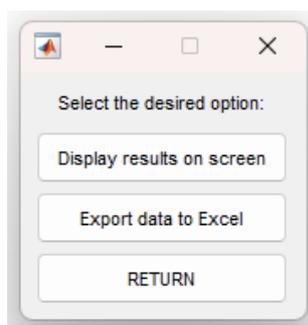


Fig. 2.46 Menú secundario QRP

2.9.1 Display results on screen

Para visualizar los resultados de la priorización de riesgos aplicando la metodología QRP, haz clic en “*Display results on screen*” del menú secundario (ver Fig. 2.46). Se mostrarán dos listados:

1. **Riesgos desagregados (Disaggregated Risk Table):** Este listado considera los riesgos como independientes. Se incluyen todos los riesgos que afectan a la duración y luego los que afectan al coste. Si un riesgo impacta en ambos objetivos, se descompone en dos riesgos distintos. Los riesgos se codifican numéricamente (R1, R2, ...) (ver Fig. 2.47).
2. **Riesgos agregados (Quantitative Prioritisation of Risk):** Aquí, se unifican los riesgos que impactan tanto la duración como el coste, utilizando una codificación alfanumérica (Ra, Rb, ...). Este listado es el más relevante.

El primer listado muestra una tabla con filas para cada riesgo desagregado. Las columnas iniciales muestran la duración y coste total del proyecto tras eliminar cada riesgo, comparadas con los valores originales (Fig. 2.47). La última columna (*Same_Risk*) indica cómo se unirán los riesgos desagregados en el segundo listado.

En el segundo listado, los impactos se agregan. Por ejemplo, Ra es equivalente a R1, por lo que las diferencias de duración y coste son idénticas. Rb combina los riesgos R2 y R4. La diferencia en duración se calcula sumando solo las componentes relevantes (R2), mientras que el impacto en el coste incluye la contribución indirecta de R2 y la componente directa de R4. Así, el impacto total de coste para Rb es la suma de ambas componentes: 16.37 (4.7414 de R2 y 11.628 de R4).

El listado también muestra un ranking de riesgos según su impacto en duración y coste.

Disaggregated_Risk_Table =

5×5 [table](#)

	Duration_without_R	Cost_without_R	Difference_Duration_without_R	Difference_Cost_without_R	Same_Risk
R1	27.34	5179.9	0.96419	87.579	1
R2	28.247	5262.7	0.056912	4.7414	2
R3	28.168	5243.5	0.13575	23.938	3
R4	28.304	5255.8	0	11.628	2
R5	28.304	5221.8	0	45.583	4

Quantitative_Prioritisation_of_Risks =

4×4 [table](#)

	Duration_Diff	Ranking_Dur	Cost_Diff	Ranking_Cost
Ra	0.96419	1	87.579	1
Rb	0.056912	3	16.37	4
Rc	0.13575	2	23.938	3
Rd	0	4	45.583	2

Fig. 2.47 Resultados de priorización de riesgos mostrados en pantalla de comandos



En el Proyecto Ejemplo (ver Tabla 1.2 y Fig. 1.18 del archivo 'Pyto_ejemplo.xlsx'), se observa que: Ra solo afecta la duración y corresponde a R1; Rb afecta tanto la duración como el coste, y se descompone en R2 (duración) y R4 (coste); Rc solo impacta la duración, y Rd solo el coste, correspondiendo a R3 y R5, respectivamente.

2.9.2 Export data to Excel

En el menú secundario **QRP** (Fig. 2.46), puedes exportar los datos de priorización cuantitativa a un archivo Excel llamado **“EvCuantRiesg.xlsx”**. No es necesario visualizar los resultados en pantalla para realizar la exportación. El archivo incluye los datos mostrados en pantalla (ver Fig. 2.47) y se guarda en la misma ubicación que la aplicación **MCSimulRisk.exe**.



Si ya existe un archivo con ese nombre y se intenta exportar de nuevo, aparecerá un mensaje de error indicando que el archivo ya existe.

2.9.3 RETURN

Esta opción permite regresar al menú principal (ver Fig. 2.5).

2.10 Export simulation data to Excel

La opción *'10. Export simulation data to Excel'* permite exportar los datos de la simulación de Monte Carlo a un archivo Excel llamado **‘Datos_sim.xlsx’**. El archivo generado contiene seis pestañas con la siguiente información:

- **‘Possible Paths with Risks’**. Matriz de posibles caminos del proyecto que incluye los riesgos. Esta matriz muestra todas las rutas posibles dentro de la red del proyecto según las relaciones de precedencia, aunque no necesariamente representan caminos críticos o de mayor duración.
- **‘Possible Paths without Risks’**. Matriz de posibles caminos del proyecto sin incluir riesgos. Calcula todas las rutas posibles eliminando los riesgos identificados.
- **‘Percentiles’**. Percentiles de la duración y el coste totales, calculados en intervalos de cinco unidades de percentil tras la simulación de Monte Carlo.
- **‘PV Curve’** Valores de duración y coste que componen la curva de valor planificado (**Plan Value – PV**).
- **‘Simulation Data’**. Datos detallados de la simulación para el número de simulaciones especificado (por defecto, 20,000). Incluye la duración de cada actividad (incluyendo los riesgos como actividades), los costes fijos de cada actividad, y la duración y coste totales del proyecto.
- **‘Topological Indicators’**. Indicadores topológicos de la red, que proporcionan información sobre la estructura del proyecto. Incluye el Indicador Serie/Paralelo (SP), la Distribución de actividades (AD), y la Flotación topológica (TF).



Si ya existe un archivo con el nombre **“Datos_sim.xlsx”** y se intenta exportar de nuevo, aparecerá una ventana emergente con un mensaje de error indicando que el archivo ya existe en la misma ubicación.

2.11 EXIT

Esta opción, disponible en el menú principal (ver Fig. 2.5), finaliza y cierra la aplicación.

