

Nassir Sapag Chain

CÓMO USAR MODELOS DE SIMULACIÓN EN LA EVALUACIÓN DE PROYECTOS

Guía práctica para aplicar
Risk Simulator en el análisis de riesgos

CÓMO USAR MODELOS DE SIMULACIÓN EN LA EVALUACIÓN DE PROYECTOS

**Guía práctica para aplicar
Risk Simulator en el análisis de riesgos**

Cómo usar modelos de simulación en la evaluación de proyectos.
Guía práctica para aplicar Risk Simulator en el análisis de riesgos
Nassir Sapag Chain

Primera edición: agosto, 2025
Santiago, Chile
Ediciones Universidad Autónoma de Chile
<https://ediciones.uaautonoma.cl>

© Universidad Autónoma de Chile
Avenida Pedro de Valdivia 425
Providencia, Santiago, Chile

Dirección editorial: Isidora Sesnic
Corrección de textos: Daniela Rogel
Diseño y diagramación: Antonia Sabatini

ISBN digital: 978-956-417-117-3
ISBN impreso: 978-956-417-122-7



Este material puede ser copiado y redistribuido por cualquier medio o formato, además se puede remezclar, transformar y crear a partir del material siempre y cuando se reconozca adecuadamente la autoría y las contribuciones se difundan bajo la misma licencia del material original.

El libro fue sometido a evaluación externa.



CÓMO USAR MODELOS DE SIMULACIÓN EN LA EVALUACIÓN DE PROYECTOS

**Guía práctica para aplicar
Risk Simulator en el análisis de riesgos**

Nassir Sapag Chain

Facultad de Administración y Negocios

Contenido

Introducción	9
Fundamentos teóricos para el análisis de riesgo en proyectos	15
Aplicación de la simulación de Monte Carlo con Risk Simulator	69
Análisis de sensibilidad y escenarios basados en resultados de la simulación	107
Análisis de indiferencia	119
Referencias	129

Introducción

Estudiar la viabilidad económica de un proyecto de inversión puede parecer complejo debido a la incertidumbre inherente a los escenarios que enfrentarán los inversionistas. Sin embargo, con el uso de herramientas avanzadas y un enfoque riguroso, este desafío se transforma en un proceso sistemático y preciso para analizar y comprender los riesgos del proyecto. De esta manera, se mejora tanto la calidad como la cantidad de la información proporcionada a quienes deben tomar decisiones sobre la implementación de la idea evaluada.

En un mundo cada vez más dinámico y competitivo, la capacidad de identificar, cuantificar y evaluar el impacto de los riesgos asociados con los proyectos de inversión se ha vuelto esencial para todo evaluador de proyectos. La simulación de Monte Carlo es, en este sentido, una de las herramientas más poderosas para realizar este análisis. Por ello, quienes se desempeñen en el área de las inversiones deben poseer las capacidades necesarias para su correcta aplicación.

Aunque el modelo no suprime ni mitiga los riesgos, proporciona información relevante para que los responsables de la toma de decisiones comprendan mejor la naturaleza y la magnitud de los riesgos involucrados. Esto permite la implementación de medidas preventivas adecuadas y el desarrollo de estrategias para evitar o mitigar situaciones adversas en caso de producirse.

En este contexto, el objetivo general de este libro es proporcionar una comprensión profunda y práctica del modelo de simulación de Monte Carlo. A través de su aplicación en el análisis de riesgos para la evaluación económica de proyectos de inversión, se busca fortalecer las habilidades analíticas de los profesionales de la especialidad.

Los objetivos específicos que se persiguen en cada uno de los cinco capítulos de este texto son:

- Revisar los conceptos básicos de finanzas y estadísticas y proporcionar la base teórica que permita entender y aplicar la simulación de Monte Carlo con efectividad en el análisis de inversiones.
- Exponer detalladamente cómo modelar el flujo de caja en Excel. A través de un caso práctico, entregar la metodología para construir un flujo de caja que soporte la ejecución de una simulación de Monte Carlo utilizando el *software* Risk Simulator, asegurando la coherencia de los datos para cualquier escenario generado aleatoriamente.
- Explicar las principales herramientas y funciones del simulador de riesgo y describir las características y funcionalidades esenciales de Risk Simulator utilizadas en la evaluación de proyectos.
- Aplicar la simulación al caso desarrollado para demostrar los beneficios de Monte Carlo sobre el caso práctico seleccionado.
- Determinar la probabilidad de éxito del proyecto a partir de la identificación y jerarquización de las variables más riesgosas según su impacto en la rentabilidad y utilizar esta información para el análisis de escenarios y la determinación de los límites de variación que podría soportar el proyecto en las variables clave.

Confío en que esta publicación no solo sea una guía práctica y esclarecedora para estudiantes y profesionales involucrados en la evaluación de inversiones, sino también una herramienta que inspire confianza al enfrentar la incertidumbre natural en las decisiones financieras.

Este libro está dirigido a estudiantes de asignaturas de Evaluación de proyectos y análisis de Inversiones de pregrado y posgrado. Está diseñado para aquellos que ya cuentan con conocimientos previos en el uso de Excel, así como en estadística (inferencia y probabilidades) y evaluación de proyectos. Por tanto, se presupone una comprensión básica de las funciones de Excel para el manejo de datos, así como de los fundamentos estadísticos y financieros necesarios para analizar los riesgos en la estimación de la rentabilidad de los proyectos.

Este material se revisó y modificó muchas veces gracias a la posibilidad de probarlo en mis cursos de posgrado de Formulación y Evaluación de Proyectos de la Escuela de Alta Dirección de la Universidad Autónoma de Chile, Universidad Católica del Norte, Universidad Nacional de Córdoba y Universidad Nacional de Rosario de Argentina, ESAN de Perú, ESPOL y ESPAE de Ecuador y del Rosario de Colombia, así como en las carreras de Ingeniería en Control de Gestión y de Ingeniería Comercial de la Facultad de Administración y Negocios de la Universidad Autónoma de Chile.

CAPÍTULO 1

**Fundamentos teóricos
para el análisis de riesgo
en proyectos**

Objetivos de aprendizaje

- 1.** Comprender la importancia del análisis de riesgos en la evaluación de proyectos.
- 2.** Explicar los conceptos de flujo de caja y criterios de evaluación.
- 3.** Entender los conceptos de riesgo e incertidumbre en el contexto de las finanzas y estadísticas.
- 4.** Conocer las bases teóricas de la simulación de Monte Carlo.

Fundamentos teóricos para el análisis de riesgo en proyectos

La evaluación de un proyecto constituye la etapa final del estudio de su viabilidad económica. Su propósito es determinar la rentabilidad esperada de una inversión inicial comparándola con las proyecciones de los flujos de caja futuros que fueron calculados en la etapa de formulación y ordenados en la etapa de preparación.

Como el resultado de esta evaluación depende del comportamiento de variables inciertas, las que pueden ser determinantes para alcanzar la rentabilidad esperada, una correcta evaluación de proyectos no solo se enfoca en calcularla, sino también en identificar, cuantificar y jerarquizar los riesgos asociados con la inversión.

Una forma efectiva de analizar los riesgos es mediante el análisis de diversos escenarios posibles, formulando la pregunta «¿qué pasaría si?». Entre los métodos más poderosos para llevar a cabo este análisis se encuentra la simulación de Monte Carlo, una técnica que permite modelar las variables críticas y evaluar cómo cambios probables en ellas afectarían la variabilidad de la rentabilidad.

EVALUACIÓN DE PROYECTOS

El resultado de la rentabilidad depende de dos factores fundamentales: una adecuada proyección de los flujos de caja esperados como resultado de la inversión y una tasa de costo de capital que represente el costo de oportunidad de invertir en el proyecto en vez de en otra opción con riesgo similar.

En relación con la proyección del flujo de caja, es esencial dominar algunos conceptos básicos para su construcción:

Horizonte de evaluación

Corresponde al número de años durante los que se proyectará el flujo, independientemente de su vida útil real. Algunos criterios para determinarlo son hacerlo coincidir con el año donde la actividad se estabiliza, con el año en que se deberá hacer una reinversión significativa en el reemplazo de algún activo, con un número arbitrario definido por el evaluador o con la vida útil real de la inversión. Lo que ocurra después de este periodo se incorporará como un valor equivalente único al final del horizonte de evaluación.

Momentos

Las columnas del flujo representan momentos específicos en el tiempo. La columna 0 resume todas las inversiones necesarias para que el proyecto se pueda iniciar. Cada columna siguiente incluye dos tipos de información: los costos y beneficios observados durante el año que termina y cualquier costo necesario para que el siguiente año pueda llevarse a cabo. Por ejemplo, si se considera reemplazar un activo cada cuatro años, en la columna 4 se anotará la inversión de reposición para que el quinto año se pueda continuar con la producción. En otras palabras, se invierte en el momento 0 para producir durante el año 1 y se invierte en el momento 4 para producir a partir del primer día del quinto año.

Estructura del flujo de caja

Aunque existen diferentes opciones para construir el flujo de caja, en este texto se utilizará la más directa y sencilla, que divide el proceso en las siguientes cinco etapas:

- *Ingresos y egresos afectos a impuesto:* estos son los elementos que aparecerían en cualquier estado de resultados contables e incluyen todos los movimientos de caja que impactan la base imponible sobre la cual se calculan los impuestos. Entre los ingresos se consideran aquellos provenientes de la venta de productos, subproductos, desechos o activos. Por otra parte, los egresos abarcan los costos relacionados con la compra de insumos, el pago de remuneraciones y otros gastos necesarios para el funcionamiento normal, como arriendos, servicios básicos electricidad, agua, fletes, seguros y cualquier otro gasto recurrente esencial para mantener la operación en marcha.
- *Gastos contables no desembolsables:* para efectos fiscales, la compra de un activo no se considera un gasto, ya que representa solo un cambio en la composición de los activos (por ejemplo, aumenta el valor del activo fijo en el mismo monto que disminuye la cuenta caja). Sin embargo, se reconoce como gasto la depreciación, que es la pérdida de valor contable del activo por su uso o antigüedad. El valor libro representa, para el fisco, lo que queda por depreciar del activo anualmente y se incluye en el flujo de caja para determinar la utilidad o pérdida generada por la venta o liquidación de un activo.
- *Utilidades e impuesto:* la diferencia entre los ingresos y gastos de las dos etapas anteriores se denomina utilidad y sobre ella se calcula el impuesto como un porcentaje.¹ La diferencia resultante es la utilidad neta.

¹ En algunos países, como Ecuador, se resta primero un porcentaje (15 %) para los trabajadores y sobre el remanente se aplica el impuesto (25 %).

- *Ajuste por gastos contables no desembolsables:* para calcular el flujo de caja efectivo es necesario ajustar la utilidad neta. La depreciación y el valor libro se restaron previamente para calcular la utilidad contable, pero como no representan salidas de efectivo reales deben sumarse nuevamente.
- *Costos y beneficios no afectos a impuesto:* en esta etapa se agregan todos los costos y beneficios no contables relevantes para el inversionista, como la inversión en activos fijos y en capital de operación, y el valor de la propiedad al final del horizonte de evaluación.

Para construir el flujo de caja del inversionista, se agregan los intereses de la deuda en la etapa 1 y, en la etapa 5, se incluye el monto del préstamo con signo positivo en el momento 0 y la amortización de la deuda a partir del momento 1.²

Capital de operación

También conocido como capital de trabajo, es una inversión de carácter permanente que se registra en la columna 0 del flujo de caja. Este capital es fundamental para cubrir el ciclo de desfase de efectivo que ocurre mientras se adquieren insumos, se produce, se venden productos y, finalmente, se recibe el dinero de las ventas.

Durante este periodo, la empresa debe incurrir en una serie de pagos antes de recibir ingresos por la venta, por lo que el capital de operación debe asegurar que haya suficiente efectivo disponible para mantener las operaciones hasta que los ingresos empiecen a fluir.

Si la actividad crece, la inversión en capital de operación debe aumentar en la misma proporción que los costos totales y no, como

² Existen tres formas de calcular la rentabilidad del inversionista. La explicada se denomina flujo neto. Las otras dos son el flujo libre y el flujo del capital. Las tres construyen de diferente manera el flujo y llegan al mismo resultado corrigiendo la tasa de costo de capital.

comúnmente se hace, en proporción al aumento de la actividad. Esto se debe a las economías y deseconomías de escala que afectan tanto a los costos fijos como a los variables.

Valor residual del proyecto

También llamado valor de desecho, se añade en la última columna del flujo de caja para representar el valor de la propiedad que se tendrá por haber hecho las inversiones. Esta adición es necesaria porque la evaluación del proyecto considera los cambios en la riqueza para el inversionista, quien obtendrá, además de los flujos provenientes de la inversión, la propiedad de los activos que continúan en el negocio.

Existen dos métodos para calcular el valor residual:

- *Valor de los activos:* este enfoque sigue un criterio conservador que valora contable o comercialmente los activos en los que se haya invertido y no vendido. Contablemente, se basa en el valor libro (lo que falte por depreciar desde la última vez que se compró). Comercialmente, se ajusta según el valor de mercado, considerando los efectos tributarios de si se vende por encima o por debajo del valor libro. En este método, el valor del capital de operación también se considera como un activo que se adiciona al valor residual.
- *Valor económico:* este método, considerado más realista, calcula el valor del proyecto como el equivalente al valor actualizado de los flujos de caja promedios futuros que se generarán con posterioridad a los considerados en el horizonte de evaluación. Estos flujos se promedian porque, bajo el supuesto de perpetuidad, se debe considerar una inversión promedio anual para la reposición de los activos, que por simplicidad muchas personas la hacen equivalente a la depreciación anual.³ En este método no

3 Lo correcto sería calcular el costo anual equivalente entre el precio de venta de cada equipo usado y su precio de compra como nuevo, donde el número de periodos corresponde a la vida útil real estimada.

se debe agregar el valor del capital de operación, ya que es parte de los activos necesarios para generar los flujos futuros que se busca valorar.

RENTABILIDAD Y RIESGO

Las herramientas más comunes para medir la rentabilidad de un proyecto son el «valor actual neto» (VAN) y la «tasa interna de retorno» (TIR). Indicadores complementarios son el «periodo de recuperación de la inversión» (PR), el «índice de rentabilidad», el IVAN y el ROI.

Valor actual neto

El VAN es una medida que evalúa la rentabilidad de un proyecto en términos relativos a una base cero. Un VAN de cero significa que el proyecto genera ingresos suficientes para cubrir todos los costos, recuperar las inversiones y proporcionar la rentabilidad exigida reflejada en el costo del capital.

Un VAN positivo indica que el proyecto no solo cumple con estos requisitos mínimos, sino que también genera un excedente adicional. Por el contrario, un VAN negativo muestra cuánto faltó para ganar lo suficiente para cubrir los costos, recuperar lo invertido y obtener la rentabilidad exigida.

Tasa interna de retorno

Mide la rentabilidad del proyecto como un porcentaje que se compara con la rentabilidad exigida. Su problema es que, contrariamente a lo que la mayoría de los libros exponen, no es una medida de rentabilidad, sino que coincide con ella en un solo caso, quizás el más común, cuando los flujos iniciales son negativos y los siguientes positivos.

En un proyecto de desinversión, como por ejemplo la evaluación de un *outsourcing*, transferir la responsabilidad de ejecutar una actividad a un tercero libera instalaciones y equipos que, al venderse,

pueden generar un flujo de caja positivo inicial y flujos negativos futuros para pagar al proveedor externo por la prestación del servicio. La tasa interna de retorno (TIR) mostrará que, a medida que aumenten los costos de externalización o disminuyan los ingresos generados por la venta de las instalaciones y equipos que se dejarán de usar, la rentabilidad será mayor, lo cual claramente es contradictorio.

Periodo de recuperación de la inversión

Determina en cuánto tiempo el flujo de caja proyectado menos el costo de capital permite la recuperación de la inversión. Es información complementaria porque existen proyectos donde el mayor tiempo de recuperación está vinculado con una mayor rentabilidad.

Índice de rentabilidad, VAN y ROI

Los tres indicadores muestran resultados similares y, aunque cada uno lo hace de manera diferente, todos llegan a la misma conclusión que el VAN, ya que utilizan las mismas variables en sus ecuaciones.

- *Índice de rentabilidad*: es el cociente entre el valor actual de los beneficios y el valor actual de los costos incluyendo inversión:

$$IR = \frac{VAB}{VAC + I}$$

- *Índice VAN*: es el cociente entre el VAN y la inversión e indica cuánto VAN se obtiene por cada peso invertido:

$$IVAN = \frac{VAN}{I}$$

- *Retorno sobre la inversión*: es el cociente entre la diferencia de los valores actuales de beneficios y costos con la inversión:

$$ROI = \frac{VAB - VAC}{I}$$

Si el VAN fuese mayor que 0, el IR sería mayor que 1, el IVAN mayor que 0 y el ROI igual a $IR-1$.

Lo anterior explica por qué en este texto se analizará el riesgo de una inversión solo desde la perspectiva de sus impactos sobre el VAN, aunque el procedimiento para aplicarla a la TIR es el mismo.

Si bien ambos instrumentos —el valor actual neto y la tasa interna de retorno— solo muestran el resultado esperado en el escenario definido por el evaluador como el más probable, los cambios tecnológicos, ambientales, económicos, migratorios, políticos, legales o sociales, entre otros, sumados a los cambios en las preferencias, necesidades o deseos de los consumidores en las estrategias comerciales de la competencia o en la aparición y desaparición de nuevas empresas, hacen que el mejor pronóstico sea solo una estimación en un escenario que, con seguridad, se modificará.

La decisión de invertir, en consecuencia, más que depender de si la rentabilidad más probable es positiva, se basa en la comprensión del origen de ese resultado y, principalmente, en el impacto que tendría si alguna de las variables se comporta de manera distinta a lo esperado.

RIESGO E INCERTIDUMBRE

La imposibilidad de predecir con éxito el comportamiento futuro de todas las variables que condicionan o determinan la rentabilidad de cualquier proyecto hace necesario complementar la información proporcionada al inversionista con un análisis de los riesgos y la incertidumbre de algunas variables.

Aunque frecuentemente se utilizan como sinónimos en el estudio de proyectos, los conceptos de riesgo e incertidumbre tienen una diferencia fundamental:

Riesgo

Una variable está en condiciones de riesgo cuando los valores que podría asumir en el futuro están asociados con probabilidades de

ocurrencia, representada como una distribución de frecuencias. Por ejemplo, la cantidad de días cama ocupados en un hotel por mes del año.

Incertidumbre

Si no se conocen los posibles resultados o no se les puede asignar una probabilidad de ocurrencia la variable se clasifica como de incertidumbre y su comportamiento no se puede representar como una distribución de frecuencias. Por ejemplo, una catástrofe climática o un conflicto bélico.

En ambos casos es imposible predecir el valor exacto que asumirá la variable. No obstante, existe tanto la opción de realizar un análisis de escenarios como uno de puntos críticos.

La definición de las variables relevantes que se analizarán cuando se está en condiciones de incertidumbre se realiza mediante métodos estáticos y queda sujeta al criterio del evaluador.

En condiciones de riesgo se puede ejecutar una simulación para generar múltiples escenarios probabilísticamente posibles mediante una selección aleatoria de los distintos valores que podrían asumir las variables que explican la rentabilidad. Esto permite calcular estadísticamente el valor esperado del VAN, representando los posibles resultados que se podrían obtener como una distribución de la probabilidad, para determinar cuáles son las variables relevantes, priorizándolas de acuerdo con el grado de correlación observado en la simulación.

Los modelos más utilizados para complementar la medición de la rentabilidad con análisis de riesgos e incertidumbre se clasifican en deterministas y estocásticos.

Modelos deterministas

Son aquellos en los que los resultados son predecibles y están determinados por las relaciones matemáticas definidas en el modelo. Esto significa que, dado un conjunto específico de valores de

entrada, el resultado será siempre el mismo. Por ejemplo, en un modelo determinista, un aumento del 10 % en la inversión o una caída del 4 % en las ventas producirá una respuesta exacta y predecible en el resultado final.

Los modelos deterministas más usados en la evaluación de proyectos son el análisis de los escenarios y el análisis de los puntos críticos.

- *Análisis de escenarios:* también conocido como el modelo de Hertz y análisis multidimensional, es un método que evalúa cómo la rentabilidad de un proyecto cambia cuando se modifican los valores de una o varias variables clave. Este enfoque permite a los evaluadores considerar diferentes combinaciones de valores para estas variables y observar cómo afectan al desempeño del proyecto.

Normalmente, se construyen escenarios optimistas, pesimistas y más probables para variables críticas como la demanda, los costos de producción, el precio o el costo de la construcción.

Su principal desventaja es cómo determinar cuáles escenarios analizar y cuáles no, lo que puede llevar a una selección sesgada de escenarios relevantes.

- *Análisis de puntos críticos:* el análisis de puntos críticos, también conocido como análisis unidimensional o análisis de sensibilidad, se enfoca en determinar la tolerancia o la variabilidad máxima que puede soportar un proyecto antes de que deje de ser viable. En términos prácticos, este método identifica el valor específico de una variable que hace que el VAN sea igual a cero o, en otras palabras, determina el umbral sobre o bajo el cual el proyecto pasa de ser rentable a no rentable. Por ejemplo, si se analiza la variación en el costo del insumo principal, el análisis de puntos críticos determinará el precio máximo que se podría pagar para que se pueda recuperar la inversión y obtener la rentabilidad exigida.

Modelos estocásticos

También conocidos como modelos aleatorios, son aquellos en los que los resultados no son predecibles con certeza debido a que el valor que tomen las variables de origen son de carácter aleatorio y están basados en la distribución de probabilidad que se le hayan asignado. Por ejemplo, en lugar de asumir un único valor fijo para las ventas, un modelo estocástico considera un rango de posibles valores, cada uno con su propia probabilidad. Esto significa que cada vez que se ejecute el modelo los resultados pueden variar y reflejar diferentes escenarios posibles. Este enfoque proporciona una visión más completa y realista del riesgo y la incertidumbre en la evaluación de proyectos.

- *Modelo de Monte Carlo:* Este modelo estocástico utiliza simulaciones basadas en distribuciones de probabilidad para analizar la incertidumbre en un proyecto. A través de un gran número de iteraciones estima la probabilidad de éxito o fracaso considerando la variabilidad de los factores involucrados. Además, como se verá más adelante, permite identificar objetivamente las variables de mayor riesgo mediante correlaciones, facilitando así el análisis de escenarios y la evaluación de puntos críticos con un enfoque en los aspectos más relevantes para la toma de decisiones.

Como se muestra en la **ilustración 1**, en situaciones de incertidumbre la evaluación se puede complementar con la cuantificación del VAN en varios escenarios donde se modifica arbitrariamente el valor de una o más variables del flujo de caja o con un análisis de los puntos críticos de las variables elegidas subjetivamente por el evaluador, tales como, por ejemplo, hasta dónde es posible que aumente el valor de la inversión, se reduzca el precio de venta, caiga el nivel de ventas, etcétera.

En condiciones de riesgo se puede realizar una simulación estadística para definir el comportamiento probabilístico del VAN. De

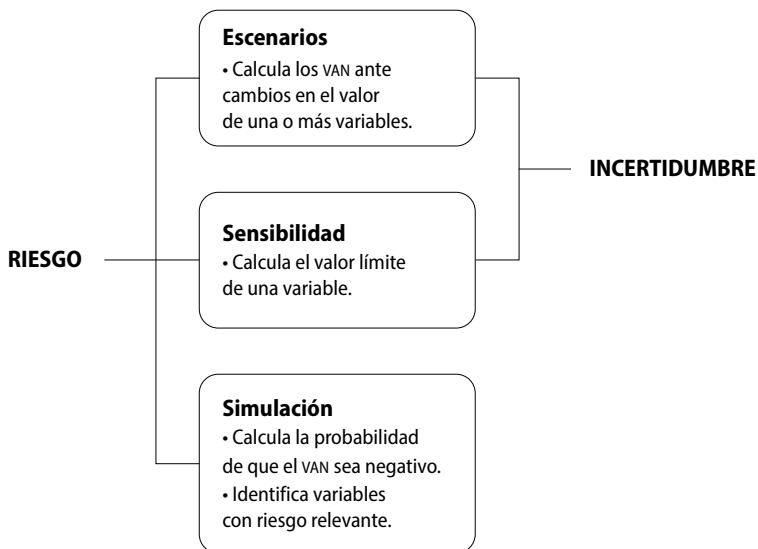


Ilustración 1. Riesgo e incertidumbre. Fuente: elaboración propia.

esta forma, se obtendrán tanto las medidas de tendencia o posición del VAN (el más probable) como las medidas de dispersión (cuán dispersa o concentrada se encuentra la distribución de sus probabilidades). Esto permite determinar la probabilidad de éxito y las variables más correlacionadas, basando así los análisis de escenarios y puntos críticos en factores objetivos.

La importancia de incluir estos análisis como complementos a la medición de la rentabilidad radica en que es responsabilidad del evaluador proporcionar la información necesaria para que el inversionista evalúe si el riesgo que asumirá se encuentra dentro de su rango de tolerancia y, en caso de aceptarlo, si la rentabilidad esperada compensará el riesgo que tomará. Esto permitirá mejorar la calidad y cantidad de la información proporcionada al inversionista y reducirá las posibilidades de error en su decisión.

VARIABLES ALEATORIAS Y DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDADES

Para entender y aplicar la simulación de Monte Carlo de manera efectiva es esencial comprender algunos conceptos estadísticos básicos que permitan modelar el riesgo con precisión.

Variable aleatoria

Una variable aleatoria es una función que asigna un valor numérico a cada resultado posible de un experimento aleatorio. Genera resultados que son estadísticamente independientes y no predecibles, representando numéricamente los resultados probabilísticos de eventos inciertos.

Las variables aleatorias se clasifican en discretas y continuas.

- *Variable aleatoria discreta*: puede tomar un número finito y cuantificable de valores. Por ejemplo, la cantidad de unidades vendidas (entre cero y la cantidad producida).
- *Variable aleatoria continua*: puede tomar un número infinito de valores dentro de un rango específico como, por ejemplo, el tiempo que se demora en vender un edificio de departamentos.

Distribución de probabilidad

También conocida como «distribución de frecuencia», describe cómo se distribuyen todos los posibles valores que puede tomar una variable aleatoria y con qué frecuencia ocurren. Para variables discretas, se asigna una probabilidad específica a cada resultado posible. Para variables continuas, se utiliza una función de densidad de probabilidad.

Algunas distribuciones comunes son:

- *Distribución normal*: es una distribución continua con límites que van desde menos infinito hasta más infinito. También conocida como «distribución Gaussiana» tiene una forma de campana y se utiliza cuando los datos se distribuyen simétricamente alrededor de la media.

- *Distribución triangular*: es una distribución de probabilidad continua que puede ser simétrica o asimétrica. Se emplea cuando se dispone de poca información y se puede definir el rango de posibles valores junto con el valor más probable. Requiere especificar un valor mínimo, un valor máximo y un valor más probable.
- *Distribución PERT (Program Evaluation and Review Technique)*: es una extensión de la distribución triangular que otorga más peso al valor más probable, proporcionando estimaciones más precisas y suavizadas.
- *Distribución uniforme*: es una distribución en la que todos los valores dentro de un rango tienen la misma probabilidad de ocurrencia. Se define simplemente por un valor mínimo y un valor máximo.
- *Distribución log-normal*: es una distribución de probabilidad continua que se utiliza cuando los datos no pueden ser negativos y muestran una asimetría positiva. La mayoría de los valores se agrupan cerca del mínimo, con una cola larga hacia la derecha.

MEDIDAS DE TENDENCIA CENTRAL Y DISPERSIÓN

Las medidas de tendencia central y dispersión son herramientas fundamentales para comprender la distribución y variabilidad de los datos.

En estadística, el Teorema Central del Límite (TCL) establece que, bajo ciertas condiciones, la media de las medias muestrales se aproximará a la media de la población, independientemente de la forma de la distribución original de las variables. Además, se establece que la distribución de las medias muestrales se aproximará a una distribución normal cuando el tamaño de las muestras es suficientemente grande y las muestras son independientes y aleatorias.

Al aplicar este teorema a la evaluación de proyectos mediante la simulación de Monte Carlo, se le asigna una distribución de probabilidad a cada variable que afecta la rentabilidad de la inversión. Generando múltiples escenarios, mediante valores seleccionados aleatoriamente para estas variables, se obtienen múltiples resultados de rentabilidad que se expresan como una distribución de frecuencias. Esto permite hacer inferencias precisas sobre la rentabilidad esperada del proyecto, la probabilidad de obtener un valor actual neto negativo, la identificación de las variables más correlacionadas con la rentabilidad y la determinación de intervalos de confianza para el VAN.

Si las distribuciones asignadas a las variables son normales, la distribución del VAN también será normal, independientemente de la cantidad de escenarios ejecutados. Si no son normales, la distribución del VAN no necesariamente será normal, aunque tenderá a aproximarse a ella si se generan suficientes escenarios independientes y aleatorios.

Calcular el promedio y la distribución de la rentabilidad permite una estimación más estable y precisa que la que se deduce de una sola muestra (la del escenario más probable). Las medidas estadísticas proporcionan dos tipos esenciales de medidas para entender esta información: las de posición o tendencia central y las de dispersión.

Medidas de posición

Las medidas de posición son las que permiten conocer la tendencia promedio de una distribución, en las que destacan, para los fines de este texto, la media aritmética, la media ponderada, la mediana y la moda.

- *Media aritmética:* representa el valor esperado del VAN y se calcula como el cociente entre la suma de los valores observados y la cantidad de observaciones. Es adecuada cuando todos los valores tienen la misma importancia relativa.

- *Media ponderada:* es la suma de los productos de cada valor por su peso relativo. Se utiliza cuando se desea dar más importancia o peso relativo a ciertas variables sobre otras.
- *Mediana:* es el valor que se encuentra en el medio de un conjunto de datos ordenados de menor a mayor. Es útil porque no se ve afectada por valores extremos o atípicos.
- *Moda:* es el valor más frecuente observado en los datos. Se usa para identificar patrones y tendencias y los valores atípicos que se desvían más significativamente del valor más común.

Dos características importantes para complementar las medidas de posición son el sesgo y la curtosis.

- *Sesgo:* se refiere a una desviación sistemática en los datos observados, a menudo causada por un defecto en el método de recolección de información. El sesgo puede afectar el resultado del análisis al sobredimensionar o subestimar los riesgos llevando a conclusiones incorrectas o engañosas sobre el comportamiento del proyecto.

Cuando una distribución no es simétrica, puede presentar un sesgo positivo o negativo. Un sesgo positivo indica que la cola de la distribución se extiende hacia la derecha, mientras que uno negativo señala una cola más larga hacia la izquierda. En el primer caso, la media se desplaza hacia la izquierda, lo que implica una mayor probabilidad de valores más bajos del VAN. En el segundo, la media se desplaza hacia la derecha, indicando una mayor probabilidad de obtener valores más altos. En la **ilustración 2** se observa que la distribución 1 tiene un claro sesgo hacia la derecha.

- *Curtosis:* describe la altura y el ancho de las colas de una distribución de datos en relación con una distribución normal.⁴

⁴ La curtosis mide la forma de las colas de una distribución de datos. El exceso de curtosis se calcula restando 3 de la curtosis. Esto se hace porque una distri-

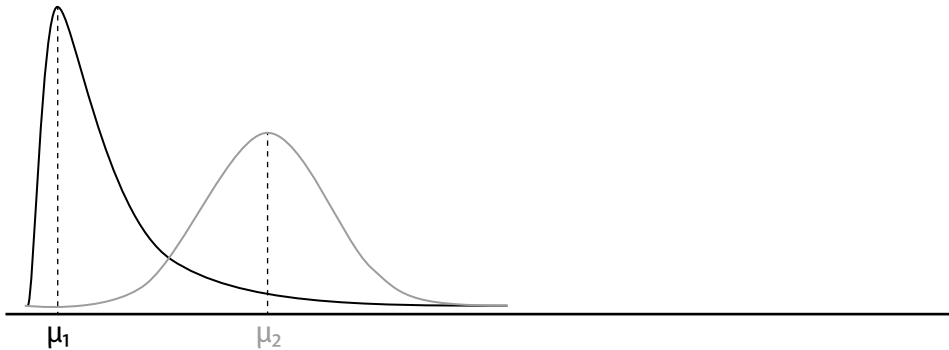


Ilustración 2. Distribución sesgada y normal. Fuente: elaboración propia.

- Si es mayor que cero (leptocúrtica) muestra que la distribución de datos tiene una mayor concentración de valores cerca de su media y que los valores extremos tienen una mayor probabilidad de ocurrir.
- Si es cero o cercana a cero (mesocúrtica) indica una distribución similar a la normal.
- Si es menor que cero (platicúrtica) muestra una menor concentración de datos alrededor de la media y que los valores extremos tienen una menor probabilidad de ocurrencia.

La extensión de la distribución refleja el rango completo de valores posibles que un resultado puede asumir. Un rango más estrecho indica una menor variabilidad y, por lo tanto, un menor riesgo asociado. Además de la desviación estándar, que es la medida comúnmente utilizada para evaluar la amplitud, se pueden emplear otras métricas como la varianza, el rango, el coeficiente de variación o los percentiles.

bución normal tiene una curtosis de 3. El exceso de curtosis refleja la curtosis en términos relativos a una distribución normal. Si es positivo, indica que hay más valores extremos y, si es negativa, que hay menos valores extremos.

Cuando dos distribuciones tienen la misma media, pero diferentes amplitudes, los riesgos asociados también difieren significativamente. Por ejemplo, en la **ilustración 3**, aunque ambos proyectos tienen el mismo valor actual neto esperado, el proyecto 2, con una menor amplitud, hace que se considere menos riesgoso.

El gráfico de la **ilustración 3** muestra la comparación de una distribución normal con una que tiene una curtosis mayor que cero.

Medidas de dispersión

Las medidas de dispersión proporcionan información sobre la distribución de los datos y su variabilidad. Las más relevantes para este texto son la varianza, la desviación estándar y el coeficiente de variación. En general, mientras más bajo sea el resultado, menor es la dispersión de datos.

- *Varianza*: es el promedio de los cuadrados de las diferencias entre cada valor observado y la media de los datos. Al elevar al cuadrado las diferencias, castiga más las desviaciones grandes, reflejando mejor la dispersión de datos.
- *Desviación estándar*: es la raíz cuadrada de la varianza y proporciona una medida de dispersión en las mismas unidades que los datos originales, facilitando la interpretación de la variabilidad de los datos.
- *Coefficiente de variación*: es el cociente entre la desviación estándar del conjunto de datos y la media expresado como un porcentaje.

Con base en estas medidas, y utilizando las propiedades de una distribución normal, se logra cuantificar la probabilidad de que el VAN se desvíe de su media según la regla empírica 68-95-99,7:

- Hay un 68 % de probabilidad de que el resultado real se encuentre en un rango que va desde la media (μ) menos una desviación estándar (σ) y la media más una desviación estándar.

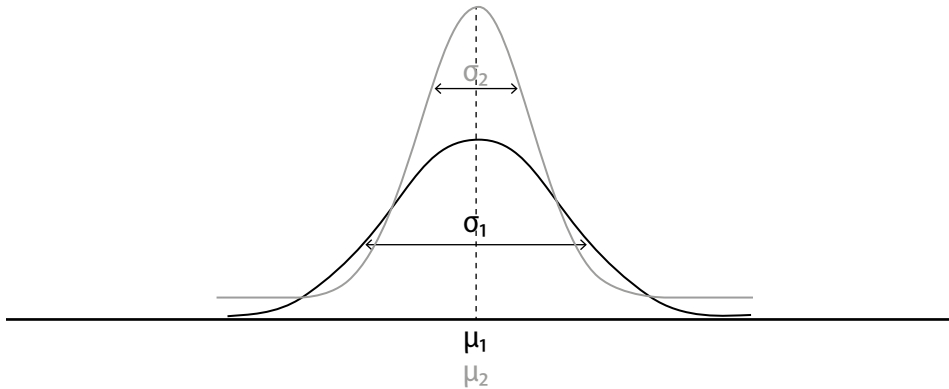


Ilustración 3. Distribuciones con curtosis diferentes. Fuente: elaboración propia.

- Hay un 95 % de probabilidad de que el resultado se encuentre entre la media menos dos desviaciones estándar y la media más dos desviaciones estándar.
- Hay un 99,7 % de probabilidad de que se encuentre entre la media menos tres desviaciones estándar y la media más tres desviaciones estándar.

La **ilustración 4** muestra que, debajo de la curva normal, el 68 % de los resultados probables se encuentra entre $\mu \pm 1\sigma$, un 95 % entre $\mu \pm 2\sigma$ y un 99,7 % entre $\mu \pm 3\sigma$.

Si las medias de dos distribuciones son diferentes, los valores bajo las curvas serán distintos, incluso si ambas distribuciones tienen la misma desviación estándar. En la **ilustración 5** se observa que la distribución de probabilidades 2 presenta escenarios positivos que no están presentes en la distribución 1 y, a su vez, la distribución 1 muestra escenarios negativos que no se observan en la distribución 2.

SIMULACIÓN DE MONTE CARLO

La simulación de Monte Carlo opera bajo el mismo principio que el Teorema Central del Límite. Este método genera múltiples

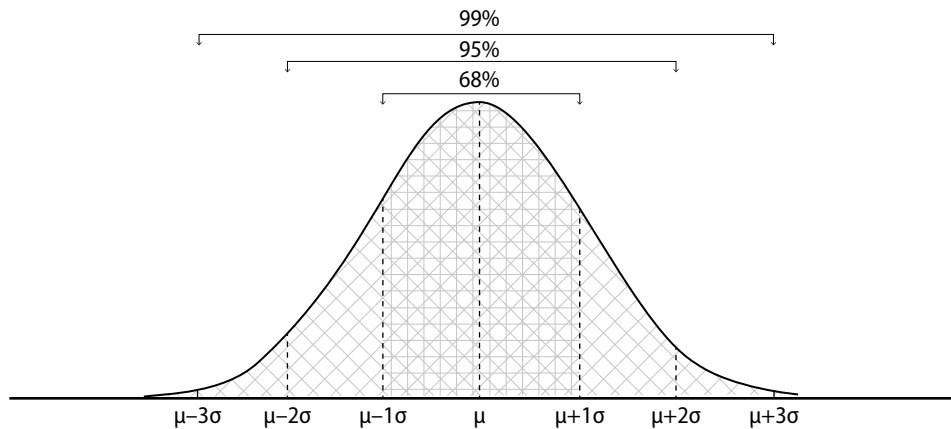


Ilustración 4. Distribución normal y la regla empírica 68-95-99.7. Fuente: elaboración propia.

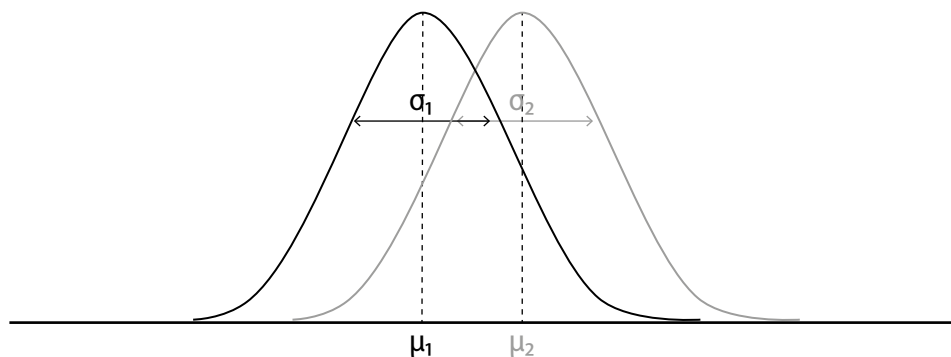


Ilustración 5. Distribuciones con distinta media e igual desviación estándar. Fuente: elaboración propia.

escenarios al repetir el cálculo de la rentabilidad con diferentes valores seleccionados al azar según las distribuciones de probabilidad asignadas a las variables relevantes del modelo. En otras palabras, permite simular distintas realidades mediante el análisis de múltiples muestras de escenarios probabilísticamente posibles que surgen de las diversas combinaciones de valores que puedan tomar las variables independientes.

Para implementar este modelo de simulación, es necesario desarrollar un flujo de caja y un modelo de cálculo de la rentabilidad que dependan directamente de los datos de entrada. Es decir, los valores de origen deben ser ingresados una sola vez y cualquier relación entre ellos debe expresarse mediante funciones o fórmulas que hagan referencia a la celda correspondiente donde reside el dato original.

El modelo de Monte Carlo se desarrolla a través de una secuencia de tres pasos que, con el apoyo del *software* adecuado, se simplifica de manera significativa.

Identificar las variables relevantes

Se consideran variables relevantes aquellas que, al modificarse, impactan en el resultado del proyecto. Con el *software* Risk Simulator, estas se determinan con la función «Análisis Tornado» del menú «Herramientas Analíticas», que se explica más adelante.

Asignar a cada variable relevante una distribución de probabilidad

Esto implica parametrizar las variables definiendo los posibles valores que puede tomar cada una y su probabilidad de ocurrencia. La asignación de la distribución de probabilidades para el valor de cada variable se denomina supuesto de entrada. En caso de tener datos históricos, sea para variable continua o discreta, el *software* está en capacidad de ajustarlos a una distribución teórica.

Seleccionar las variables dependientes cuyo resultado se busca simular

Aunque generalmente se elige el VAN, es posible hacerlo con más de una variable como el valor del proyecto al final del horizonte de evaluación. A estas variables se les denomina supuestos de salida o pronósticos.

Finalmente, se realizan numerosas iteraciones asignando valores aleatorios a cada variable, según sus distribuciones de probabilidad,

para obtener múltiples mediciones de la rentabilidad. Esto permite construir una completa distribución de probabilidades de los resultados posibles.

CONSIDERACIONES FINALES

En este capítulo se han explorado los fundamentos de la simulación de Monte Carlo para el análisis de riesgos, revelando cómo esta técnica se convierte en un recurso indispensable para todo quien evalúa proyectos. A pesar de su poderosa capacidad para generar información relevante, es preciso reconocer que su eficacia dependerá de la capacidad del evaluador para modelar correctamente las interrelaciones entre las variables y la calidad de los datos que se utilicen. En los próximos capítulos se profundizará en cómo llevar a cabo este proceso de manera efectiva.

CAPÍTULO 2

Modelación del flujo de caja con Excel

Objetivos de aprendizaje

1. Comprender cómo estructurar un modelo de flujo de caja en Excel para utilizar la simulación de Monte Carlo en proyectos de inversión.
2. Aprender a vincular cálculos financieros con celdas de origen para mantener la coherencia y flexibilidad del modelo.
3. Desarrollar habilidades para construir un flujo de caja efectivo que capture la complejidad de las operaciones y las variaciones del mercado.
4. Evaluar la rentabilidad del proyecto mediante el VAN y expresar este cálculo como una función dependiente para generar múltiples escenarios.

Modelación del flujo de caja con Excel

El objetivo de este capítulo es adentrarse en el núcleo de la evaluación de proyectos: la construcción y la modelación del flujo de caja en Excel. Utilizar esta herramienta permite crear modelos dinámicos que no solo calculen la rentabilidad esperada, sino que también se adecúen, de manera coherente, a los diferentes escenarios que se simularán.

Construir un flujo de caja efectivo implica más que solo ordenar los costos y beneficios proyectados; se trata de capturar la complejidad de las operaciones y los ajustes a las fluctuaciones del mercado. Este capítulo guiará al lector a través de un caso práctico completo para construir las fórmulas y referencias cruzadas que aseguren consistencia y precisión en todas las situaciones posibles que podría enfrentar el proyecto.

Con esto se persigue equipar al lector con las herramientas necesarias para construir modelos robustos que no solo pronostiquen los flujos de caja en condiciones normales, sino que también se adapten de manera dinámica a otros escenarios.

ANTECEDENTES DEL PROYECTO

El siguiente caso es completamente ficticio y ha sido confeccionado únicamente con fines didácticos. Toda la información presentada es puramente imaginaria y su único objetivo es generar un ejercicio que facilite la comprensión y aprendizaje práctico en el entorno académico.

El proyecto contempla la compra de un terreno y la construcción de instalaciones que permitan eventuales ampliaciones si la demanda así lo justifica, además de la compra de maquinarias y equipos en general, para fabricar y vender un solo producto.

Los distintos estudios realizados permiten disponer de la siguiente información:

- *Precio:* el producto se venderá a un precio unitario de \$320.
- *Proyección de demanda:* la demanda anual se explica por la siguiente función:

$$\text{Demanda} = 1882,3x^{0,2993}$$

x representa el número de años transcurridos desde el inicio de operaciones y coincide con la columna o el momento del flujo de caja.

- *Capacidad inicial máxima de producción:* 3.000 unidades anuales.
- *Capacidad máxima de producción después de ampliación:* 3.300 unidades anuales.
- *Costo variable unitario:* cantidades anuales inferiores a 2.800 unidades se compran en el mercado formal a 120 pesos cada una. Sobre ese nivel se puede comprar directamente al fabricante a un precio un 4 % inferior (\$115,2). El valor de 120 pesos se eligió por ser el promedio mensual de los últimos diez años y porque es el precio al que se vende en la actualidad. La tabla de la **ilustración 6** muestra los valores históricos de la materia prima.
- *Costo fijo anual:* se estima en 90.000 pesos, aunque para volúmenes de producción y ventas superiores a las 2.500 unidades se deberá contratar más personal y arrendar más bodegas, lo que lo incrementarían en un 15 %.

L19										
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	Costo materia prima									
2	118	120	121	1189	109	121	123	119	116	117
3	108	123	113	128	118	124	118	123	124	121
4	122	116	117	118	121	115	122	116	120	122
5	118	124	109	120	124	128	128	124	120	114
6	124	114	118	113	119	117	109	120	121	119
7	120	126	123	128	123	120	124	121	114	120
8	117	119	122	122	117	128	121	117	123	118
9	123	128	115	116	120	114	116	126	116	109
10	121	113	116	123	124	123	123	114	128	123
11	117	121	120	118	109	119	119	120	119	124
12	124	122	119	122	124	117	128	124	118	115
13	115	119	123	114	120	122	121	114	122	120

Ilustración 6. Costo histórico de la materia prima.

H24					
	A	B	C	D	E
1	Activo	Valor	Años para depreciar	Vida útil	Precio liquidación
2	Terreno	280.000			
3	Construcción	15.200.000	30		
4	Maquinarias	360.000	10	6	30%
5	Equipos	120.000	5	4	25%

Ilustración 7. Inversiones previas a la puesta en marcha y vidas útiles contable y real.

- *Inversiones:* las inversiones iniciales, los años para depreciar contablemente, la vida útil real y el porcentaje de su valor de compra al que se podrían vender al momento de su sustitución se muestran en la **ilustración 7**.
- *Inversiones de ampliación:* para producir más de 3.000 unidades se deberá comprar una máquina secundaria adicional por 60.000 pesos, la cual se deprecia y tiene una vida útil de diez años.
- *Tasa de impuesto a las utilidades:* 25 %
- *Tasa de costo de capital:* la rentabilidad exigida para aceptar el proyecto es de 11,3 %.
- *Horizonte de evaluación:* diez años.

PREPARACIÓN DEL PROYECTO

Como se mencionó en el capítulo anterior, los datos de origen se registran una sola vez para poder asignarles una probabilidad de ocurrencia a los distintos valores que cada variable puede asumir.

Según los datos del caso, los costos variables y fijos, así como el momento en que se deberá invertir en la ampliación, dependen del volumen de producción y ventas que cada escenario aleatoriamente elija. A continuación, se muestra la forma de modelar cada variable.

La **ilustración 8** muestra la ubicación de los datos de origen (celdas sombreadas) y los cálculos preliminares simples: depreciación anual, precio de venta de los activos al sustituirse y los costos variables y fijos en distintos niveles de la escala de producción.

- *Proyección de la demanda:* se proyecta la función de demanda aplicando la función de tendencia entregada. Para el primer año, la proyección se define mediante:

$$= \$B\$3 * C1 ^ \$B\$4$$

Se dejan fijas las celdas con los parámetros de la función para que, al copiar la fórmula hasta la columna 10, la proyección de cada año se calcule sobre dichos parámetros.

- *Proyección de unidades producidas y vendidas:* se supone que se hará la ampliación para sobrepasar la producción de 3.000 unidades, pero que no se podrán producir más de 3.300 unidades después de la ampliación. Por lo tanto, se define la celda del primer año mediante:

$$= \text{MIN}(C22; \$C\$6)^5$$

Es decir, se anota el valor mínimo entre la demanda y la capacidad máxima de producción (se deja fija la celda que contiene la capacidad máxima para copiar la fórmula).

5 Dependiendo de la configuración del teclado, el punto y coma se podría tener que reemplazar por una coma.

A1	✕	✓	fx	Información				
	A	B	C	D	E			
1	Información	0	1	2	3			
2	Precio		320					
3	a	1.882,3						
4	b	0,2993						
5	Capacidad inicial		3.000					
6	Capacidad máxima		3.300					
7	Costo variable	120	2.800	4%	115			
8	Costo fijo	90.000	2.500	15%	103.500			
9	Capital de trabajo	3						
10	Valor venta maquinaria	30%	108.000					
11	Valor venta equipamiento	25%	30.000					
12	Impuesto	25%						
13	Costo de capital	11,3%						
14								
15	Activo	Valor	Años para depreciar	Vida útil	Depreciación anual			
16	Terreno	280.000						
17	Construcción	1.500.000	30		50.000			
18	Maquinarias	360.000	10	6	36.000			
19	Equipos	120.000	5	4	24.000			
20	Máquina ampliación	60.000	10	10	6.000			

Ilustración 8. Ubicación datos de origen y cálculo de valores.

A1	Información											
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1	Información	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
22	Proyección cantidad demandada		1.882	2.316	2.615	2.850	3.047	3.218	3.370	3.507	3.633	3.750
23	Proyección cantidad vendida		1.882	2.316	2.615	2.850	3.047	3.218	3.300	3.300	3.300	3.300

Ilustración 9. Proyección de demanda y unidades vendidas.

El resultado de ambas proyecciones se anotará en las filas 22 y 23, quedando como se muestra en la **ilustración 9**.

Para construir el flujo de caja se seguirá el modelo de las cinco etapas propuesto en el capítulo anterior. La numeración de los momentos se hará en la fila 25, partiendo por 0 en la celda B25.

Ingresos y egresos afectos a impuesto

Los ingresos afectos a impuesto están constituidos tanto por la venta anual del producto como por la de los activos que se sustituirán.

Los egresos afectos a impuestos lo conforman los costos variables y fijos.

- *Ingresos por venta del producto:* se obtiene de multiplicar el precio por la proyección de unidades vendidas. En la celda C26 se anota la fórmula del producto de la celda donde está el precio (se deja fija) por la celda de la cantidad proyectada de ventas del primer año:

$$= \$C\$2 * C23$$

Al copiar la fórmula hasta el décimo año, mostrará siempre el producto de la celda C2 por la cantidad que se proyecta vender en cada año. Al cambiar aleatoriamente cualquiera de ambas variables, el ingreso se ajustará automáticamente.

- *Ingresos por venta de activos:* se considerará activo vendido a todo aquel que será reemplazado durante el horizonte de evaluación.

La máquina tiene una vida útil real de seis años, por lo que al final del sexto año queda liberada para su venta. Luego, en la celda H27 se anota:

$$= C10$$

Los equipos, como solo duran cuatro años, se deben considerar que serán reemplazados dos veces, al final del cuarto y octavo año, por lo que, en las celdas F27 y J27, se escribe:

$$= C11$$

- *Costos variables:* considerando que el costo variable unitario cambia dependiendo del volumen de producción, la fórmula para calcularlo se debe expresar como una función condicional, de tal manera que cuando se elija un escenario con ventas de hasta 2.800 unidades, el costo variable total se calcule como el producto de esa cantidad por 120 pesos y, si fuese mayor, solo por 115 pesos (celda E7). La función condicional para el primer

año se escribe en la celda C28 de la siguiente manera y se copia hasta el final del décimo año:

$$=-SI(C23<= \$C\$7;C23* \$B\$7;C23* \$E\$7)$$

- *Costos fijos:* igual como en el caso anterior, el costo fijo anual dependerá de los volúmenes de producción. Esto hace necesario una función condicional que exprese que cuando el escenario contemple una producción igual o inferior a 2.500 unidades, el costo fijo sea de 90.000 pesos, y si no, o sea, si es mayor que 2.500, entonces el costo sea de 103.500 pesos. Recuerde que este valor es, a su vez, una función del costo original de 90.000 pesos. La función condicional que se escribe en la celda C29 y se copia hasta el último periodo de la evaluación es la siguiente:

$$=-SI(C23<= \$C\$8; \$B\$8; \$E\$8)$$

Como se observa, los dos primeros años el costo fijo es de 90.000 pesos y, a partir del tercero, aumenta porque se incluyó la condición de que al producir por sobre 2.500 unidades se debía incrementar este costo. Hacerlo de esta manera permitirá que el costo fijo siempre sea coherente con el nivel de producción del escenario que aleatoriamente se seleccione.

Gastos no desembolsables

Corresponde a las depreciaciones de los activos fijos y al costo contable (valor libro) de los activos vendidos.

- *Depreciación:* se registran con signo negativo las depreciaciones de la construcción, de las máquinas y de los equipos comprados al inicio, calculadas en las filas 17 a 19 de la columna E. Como en este caso la máquina y los equipos se reemplazan por activos similares de igual valor, las depreciaciones de los equipos de reemplazo se mantienen constantes.

Para la máquina de ampliación se debe indicar que la depreciación se inicia en el momento inmediatamente posterior al de

su compra. Como el momento de invertir dependerá del escenario que aleatoriamente elija el simulador, se deberá expresar como una función condicional. Si bien hay muchas opciones para formularla, la más simple pareciera ser anotar, para el primer año (celda C33), la siguiente condición y copiarla hasta el año diez:

$$=SI(C23<\$C\$5;0;-\$B\$20/\$C\$20)$$

- *Valor libro:* como se mencionó en el capítulo anterior, para determinar la utilidad o pérdida en la venta de activos, se debe comparar el precio de venta con el valor libro del activo al momento de venderse. El valor libro se calcula como la diferencia entre el precio de compra y la depreciación acumulada hasta ese momento. Esta fórmula se coloca como sigue en la celda H34:

$$=-B18-SUMA(C31:H31)$$

Se incluye el signo negativo para que, al sumarle el ingreso por la venta, quede reflejada solo la diferencia.

Para el caso de los equipos se procede de la misma forma, escribiendo en las celdas F34 y J34 la siguiente expresión:

$$=-B19-SUMA(C32:F32)$$

Cálculo del impuesto

Como los gastos se incluyen con signo negativo, la utilidad antes de impuestos se obtiene de la suma de las dos etapas anteriores. En la celda C35 se registra la siguiente fórmula y se copia hasta el final.

$$=SUMA(C26:C34)$$

El impuesto se calcula, con signo negativo, multiplicando anualmente la utilidad obtenida por la tasa de impuestos, que en este caso es del 25 %. Como la celda donde está la tasa de impuesto se dejó fija, se copia la fórmula hasta el final.

$$=-\$B\$12*C35$$

La suma de estos valores corresponde a la utilidad neta.

$$= \text{SUMA}(C35:C36)$$

Ajuste por gastos no desembolsables

La utilidad neta fue calculada restando las depreciaciones y valores libro que no son salidas de dinero. Para construir el flujo de caja, por lo tanto, se deben volver a sumar después de haberlas restando para calcular el impuesto. Para ello se registra con signo negativo el valor depreciado, para que el resultado aparezca con signo negativo. Por ejemplo, en la celda C38 se incluye la siguiente fórmula para copiar la depreciación:

$$=-C30$$

En el caso de los valores libro se procede de la misma forma.

Costos y beneficios no afectos a impuesto

El objetivo de la proyección de flujos de caja es preparar la información relevante para que se pueda determinar si los sacrificios de consumo o uso alternativo de los recursos invertidos son compensados por los beneficios futuros. Las inversiones implican un sacrificio de recursos y, por lo tanto, un costo de oportunidad para el inversionista. No va antes de impuestos porque para el fisco no hubo cambios en la riqueza de quien lo aportó, sino solo un cambio en la composición de sus activos. La misma consideración vale para la propiedad que se tendrá al final del horizonte de evaluación. La valoración de ella es importante para medir los cambios en la riqueza del inversionista, pero no está afectada a impuesto si no se vende con utilidades.

Las principales cuentas que se incluyen en esta etapa se relacionan con las inversiones, el capital de trabajo y el valor del proyecto al final del horizonte de evaluación.

- *Inversiones*: corresponden a las inversiones iniciales, de reposición de activos y de ampliación. Si bien el capital de trabajo es

también una inversión, se tratará por separado por constituir, en algunos casos, también un beneficio que se debe valorar.

- *Inversiones previas a la puesta en marcha:* se escriben con signo negativo en el momento 0. En este caso, se incluyen las inversiones en terreno, construcciones, maquinarias y equipos, expresando con signo negativo los valores de las celdas B16 a la B19.
- *Inversiones de reposición:* se deben considerar para todos los activos cuya vida útil real sea inferior a los años del horizonte de evaluación del proyecto. Como las maquinarias tienen una vida útil de seis años, se registra en el momento «6» la compra de los activos de reemplazo, para que el proyecto pueda funcionar normalmente a partir del séptimo año, referenciando el valor a lo que aparece en la celda B18, con signo negativo. En el caso de los equipos, se debe considerar su reemplazo al final de los años cuatro y ocho, es decir, en las columnas 4 y 8, referenciando su valor a la celda B19.
- *Inversión de ampliación:* el momento de hacerlo depende del escenario que aleatoriamente se simulará. Por ello, se debe escribir una función condicional que establezca que en el momento anterior al que se vaya a producir más de las 3.000 unidades que se pueden fabricar con la capacidad instalada inicial. Aunque hay varias opciones para construir la fórmula condicional, la siguiente es quizás la más fácil (se apunta en la celda C47 y se copia hasta el final del flujo).

=SI(D23<\$C\$5;0;SI(SUMA(B\$47:\$D47)<0;0;- \$B\$20))

Como la inversión se debe hacer en el momento anterior al que se refleje el aumento de actividad, se debe tomar la precaución de vincular la celda C47 con la producción del periodo siguiente. La doble condición es necesaria para que, al copiar la fórmula hasta el final del horizonte de evaluación, solo se considere una vez la inversión de ampliación.

Para el escenario considerado como el más probable el quinto año se supera la capacidad de producción inicial, por lo que en la columna 4 aparece la inversión de ampliación.

Nótese que la máquina de ampliación empezó a depreciarse a partir del quinto año, mostrando la coherencia entre los datos.

- *Capital de trabajo:* como ya se explicó, el capital de trabajo es una inversión de carácter permanente que se debe anotar en la columna 0. Si aumentan los costos, esta inversión debe incrementarse para poder financiar los mayores requerimientos de caja para adquirir, por ejemplo, más materias primas. En el caso de que el proyecto se valore por el método de valoración de activos, el capital de trabajo se debe considerar como un beneficio, es decir, como un activo más del que se será propietario por hacer la inversión.
- *Capital de trabajo como inversión:* según los antecedentes del ejemplo, se estima necesario financiar el desfase de tres meses del ciclo de conversión del dinero.⁶

Para calcularlo, se suma el costo promedio mensual de operación, que incluye los costos fijos y variables del primer año, se divide entre 12 y se multiplica por los tres meses. Es decir:

$$=(SUMA(C28:C29)/12*B9)$$

Con el aumento de producción en el segundo año, se requerirá más capital de trabajo para cubrir mayores costos. Al modelar el flujo, se deberá dejar instrucciones para que se incremente automáticamente según los escenarios simulados aleatoriamente.

Para calcular la inversión incremental de manera sencilla, se puede dividir la variación del costo total entre 12 y multiplicarlo por tres. Si en el momento 0 se registró el capital de trabajo ne-

⁶ Los distintos métodos para calcular la inversión inicial en capital de trabajo se explican ampliamente en Sapag, 2020.

cesario para financiar la operación del primer año, en el momento 1 se debe incluir la inversión adicional para el segundo año. En la celda C48, se escribe la siguiente fórmula que se copia hasta el final del flujo:

$$=(SUMA(D28:D29)-SUMA(C28:C29))/12*\$B\$9$$

En el escenario proyectado inicialmente, la inversión en capital de trabajo es cero en el momento 7 porque el octavo año no aumentan ni la producción ni el costo total.

- *Capital de trabajo como beneficio:* como se mencionó, si el método de valoración de activos al final del horizonte de evaluación del proyecto se hace por el método de valorar activos, se debe incluir siempre con signo positivo en la columna 10 el total invertido en capital de trabajo por constituir también una propiedad y por haber invertido en él. Si se asegura que las celdas M28 y M29 estén vacías, simplemente copiando la fórmula hasta el final, aparecerá de manera automática. Opcionalmente, se puede obtener sumando todas las inversiones realizadas desde el momento 0 al 9.

Si el valor residual del proyecto se calcula por el método económico, es decir, por el valor equivalente de los flujos que generaría a partir del año 11, no se puede incluir el valor del capital de trabajo, ya que es necesario para continuar generando flujos futuros.⁷

- *Valor residual del proyecto:* también conocido como valor de desecho, se incluye en la columna 10 para reflejar el valor de la propiedad que se tendrá debido a las inversiones realizadas. Si bien muchas personas lo calculan de manera conservadora valoran-

⁷ Cabe hacer notar que si un activo tiene una vida útil que coincida con el horizonte de evaluación, necesariamente se deberá incluir su reposición en ese momento para permitir la generación futura de los flujos de caja.

do activos, lo correcto es hacerlo valorando los flujos que seguiría generando como unidad económica en funcionamiento. No parece correcto colocar valores conservadores o, como también algunos lo hacen, un ítem de imprevistos, ya que una simulación probabilística de escenarios bien estructurada debería contemplar estos efectos de manera adecuada.

- *Valoración de activos:* se obtiene de la suma de los valores contables de todos los activos existentes al final del horizonte de evaluación. Para calcular esto, es necesario determinar cuántos años ha estado depreciándose cada activo desde su última compra, calcular la depreciación acumulada y, por diferencia con el valor de adquisición, determinar lo que falta por depreciar o valor libro. El terreno no se deprecia y, por lo tanto, mantiene su valor inicial.

La construcción, depreciada durante diez años, tendrá una depreciación acumulada de 500.000 pesos. Como el monto invertido fue de 1.500.000 pesos, todavía tendrá un valor contable de 1.000.000 de pesos.

La maquinaria reemplazada al final del sexto año acumulará por 144.000 pesos (4×36.000) al final del décimo año, con un valor contable de 216.000 pesos.

Para los equipos adquiridos al final del octavo año y depreciados dos veces, su depreciación acumulada será de 48.000 pesos, resultando en un valor libro de 72.000 pesos al final del horizonte de evaluación.

El cálculo del valor libro de la máquina de ampliación depende del momento de su adquisición, el que está determinado por el escenario que aleatoriamente salga en la simulación. En la celda C53 se utiliza la siguiente fórmula condicional:

$$=SI(SUMA(C\$47:\$L47)=0;;\$L\$25-C25)$$

Es decir, si la suma de la fila de la inversión de ampliación (fila 47) es cero, se registra cero y, en caso contrario, se coloca la

cantidad de años desde ese momento hasta los diez años de horizonte de evaluación, utilizando la identificación del momento de la fila 25.

Calculado esto, en la celda donde se registrarán los años transcurridos desde la última vez que se compró (G20) se utiliza la siguiente fórmula para identificar el menor número superior a cero:

$$=MIN(SI(C53:L53>0;C53:L53))$$

La suma de los valores contables de los activos se muestra en la **ilustración 10**, alcanzando un total de 1.592.000 pesos.

- *Valoración del flujo:* conocido también como valor económico, representa el valor equivalente al momento 10 de infinitos flujos futuros generados a partir del año 11. Se basa en el supuesto de perpetuidad para simplificar el cálculo, considerando que el valor presente de flujos distantes en el tiempo tiende a cero. Para calcularlo, se determina un flujo de caja anual promedio, donde se incluye la inversión promedio anual para reposición de activos. Los dos principales criterios para calcular esta inversión promedio son el contable y el costo anual equivalente.

El criterio contable asume que la depreciación contable es una buena aproximación de la inversión anual promedio. En este caso, la suma de las depreciaciones anuales es de 116.000 pesos según se muestra en la **ilustración 10**.

El método del costo anual equivalente calcula la inversión promedio como el valor anual necesario para que, al final de la vida útil real de cada activo, se haya acumulado la diferencia entre lo que costará el reemplazo y el ingreso por la venta de la que será sustituida. Asume que la anualidad se podrá invertir a la tasa de costo de capital que se le exige al proyecto, ganando intereses hasta el momento de ser utilizado.

Cuando no se conoce la vida útil real de un activo, se puede asumir que coincide con los años de depreciación. Por ejemplo,

Activo									
	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	Activo	Valor	Años para depreciar	Vida útil	Depreciación anual		Años ya depreciados	Depreciación acumulada	Valor libro
2	Terreno	280.000							280.000
3	Construcción	1.500.000	30		50.000		10	500.000	1.000.000
4	Maquinarias	360.000	10	6	36.000		4	144.000	216.000
5	Equipos	120.000	5	4	24.000		2	48.000	72.000
6	Máquina ampliación	60.000	10	10	6.000		6	36.000	24.000
7					116.000				1.592.000

Ilustración 10. Cálculo del valor residual contable.

se asume que cada treinta años se deberían haber ahorrado 1.500.000 pesos para renovar las construcciones.

Si el activo no tiene opción de venderse o el ingreso que generaría es poco relevante, se puede asumir que se debe ahorrar el total del valor de la inversión de reposición. Por ejemplo, para la máquina de ampliación, que se reemplaza cada diez años sin generar ingresos por su venta, se debe acumular 60.000 pesos en diez años.

Cuando un activo liberado genera un ingreso por su venta, el flujo de caja debe incluir la diferencia entre los precios de compra y venta durante el periodo equivalente a la vida útil real de cada activo. En este caso, se reemplazan cada seis años las máquinas principales y los equipos cada cuatro años. Es importante expresar estas operaciones matemáticas como fórmula con precisión para que se ajusten a los distintos escenarios que simularán la evaluación.

Como resultado de este proceso, se calcula el valor que debe acumularse al final de la vida útil individual de cada activo. Para efectos del modelo, se incluirá en la columna K, filas 17 a la 20, bajo el nombre «VF» (término que usa Excel para referirse a un valor final), la fórmula específica para calcular cada uno: 1.500.000 pesos para reponer la construcción cada treinta años; 252.000 pesos para que, sumados a los 108.000 pesos de la venta

de las máquinas que se sustituyen pueda cubrir los 360.000 pesos que costaría reemplazarlas cada seis años; 90.000 pesos para cubrir, junto con los 30.000 pesos que ingresarán por la venta de los equipos, los 120.000 pesos que cuesta sustituirlos cada cuatro años; y 60.000 pesos cada diez años para reponer la máquina de ampliación, asumiendo que la liberación de la máquina reemplazada no genera ingresos.

En la columna L, filas 17 a la 20, se registran las vidas útiles de cada activo bajo la columna denominada «Nper» (nombre que se usa en Excel para referirse al número de periodos o cuotas).

En la columna M se calculará el monto equivalente anual que se descontará del flujo anual perpetuo para financiar la producción y venta a largo plazo. Este resultado se anotará en la columna denominada «Pago» (término usado en Excel para referirse al costo anual equivalente, cuota o anualidad).

Existen dos formas para calcular el costo anual equivalente de cada reinversión en Excel. Utilizando la fórmula:

$$=PAGO(Tasa;Nper;;-VF)$$

Donde «Tasa» corresponde a la tasa de costo de capital. Por ejemplo, para calcular el costo anual equivalente de la construcción, se escribe:

$$=PAGO(\$B\$13;L17;;-K17)$$

Una vez fijada la tasa de costo de capital, se copia esta fórmula para los otros tres activos. En la **ilustración 11** se observa la ubicación de cada dato y la forma de cálculo de la variable «Pago». Como lo muestra la **ilustración 12**, al mismo resultado se llega si se recurre a la opción «Insertar función de Excel». En *fx* (insertar función) se elige «Financiera/Pago».

- Al hacer clic en «Aceptar» se abrirá el cuadro de diálogo «Argumentos de función», que se completa de la siguiente manera: En la casilla «Tasa», se ingresa la referencia a la celda que contiene la tasa de costo de capital (B13), la cual se fija con F4 para

SUMA	X	✓	fx	=PAGO(\$B\$13;L17;;K17)										
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
1	Información	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
2	Precio		320											
3	a	1.882,3												
4	b	0,2993												
5	Capacidad inicial		3.000											
6	Capacidad máxima		3.300											
7	Costo variable	120	2.800	4%	115									
8	Costo fijo	90.000	2.500	15%	103.500									
9	Capital de trabajo	3												
10	Valor venta maquinaria	30%	108.000											
11	Valor venta equipamiento	25%	30.000											
12	Impuesto	25%												
13	Costo de capital	11,3%												
14														
15	Activo	Valor	Años para depreciar	Vida útil	Depreciación anual	Años ya depreciados	Depreciación acumulada	Valor libro	VF	Nper	Pago			
16	Terreno	280.000						280.000						
17	Construcción	1.500.000	30		50.000	10	500.000	1.000.000	1.500.000	30	=PAGO(\$B\$13;L17;;K17)			
18	Maquinarias	360.000	10	6	36.000	4	144.000	216.000	252.000	6	31.607			
19	Equipos	120.000	5	4	24.000	2	48.000	72.000	90.000	4	19.025			
20	Máquina ampliación	60.000	10	10	6.000	6	36.000	24.000	60.000	10	3.537			
21					116.000			1.592.000			61.284			
125														

Ilustración 11. Cálculo de la inversión promedio anual.

M17 X ✓ fx =

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
1	Información	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
2	Precio		320										
3	a	1.882,3											
4	b	0,2993											
5	Capacidad inicial		3.000										
6	Capacidad máxima		3.300										
7	Costo variable	120	2.800	4%									
8	Costo fijo	90.000	2.500	15%									
9	Capital de trabajo	3											
10	Valor venta maquinaria	30%	108.000										
11	Valor venta equipamiento	25%	30.000										
12	Impuesto	25%											
13	Costo de capital	11,3%											
14													
15	Activo	Valor	Años para depreciar	Vida útil									
16	Terreno	280.000											
17	Construcción	1.500.000	30										
18	Maquinarias	360.000	10										
19	Equipos	120.000	5										
20	Máquina ampliación	60.000	10										
21													
22													

Insertar función

Buscar una función:

Escriba una breve descripción de lo que desea hacer y, a continuación, haga clic en ir

O seleccionar una categoría: Financiera

Seleccionar una función:

- MONEDA.DEC
- MONEDA.FRAC
- NPER
- P.DURACION
- PAGO**
- PAGO.INT.ENTRE
- PAGO.PRINC.ENTRE
- PAGO(tasa;nper;v;vf;tipo)

Calcula el pago de un préstamo basado en pagos y tasa de interés constantes.

Ayuda sobre esta función

Aceptar Cancelar

Ilustración 12. Uso de la opción «Insertar función».

mantenerla constante; en la casilla «Nper» se vincula la celda que contiene el número de años de vida útil del activo; y en «VF», se ingresa la referencia a la celda donde que contiene el valor que se desea tener capitalizado al final de ese periodo. En Excel, se debe incluir con signo negativo la referencia a la celda del valor final para asegurar que el resultado final aparezca con signo positivo.

La forma de calcular la inversión anual equivalente para la construcción se muestra en la **ilustración 13**.

- De acuerdo con el método del costo anual equivalente, la inversión promedio anual se obtiene de la suma de los valores individuales contenidos en la columna «Pago», tal como se mostró en la ilustración.

Al comparar ambos procedimientos, se observa una diferencia significativa entre ellos. Mientras el método contable estimó este monto en \$116.000, el costo anual equivalente lo reduce a solo \$61.284.

Aunque el segundo método es conceptualmente mejor, algunos defensores del método contable argumentan que lo eligen por ser más conservador. Sin embargo —como ya se explicó—, esta justificación carece de fundamento, ya que el modelo de simulación incorporará la probabilidad de valores menores. A pesar de esto, se acepta debido a que su impacto suele ser marginal en el cálculo de la rentabilidad y por su facilidad de cálculo.

Independientemente de la opción elegida, se debe descontar del flujo de caja promedio anual perpetuo. En este caso, dado que el flujo se estabilizó a partir del séptimo año, se tomará como referencia el flujo del año nueve, que es de 476.800 pesos, ya que ese año no hay inversiones de reposición.

El valor presente de una perpetuidad se calcula dividiendo el flujo promedio anual (Fp) por la tasa de costo de capital:

$$VA = \frac{Fp}{Tasa}$$

Argumentos de función ? X

PAGO

Tasa	\$B\$13	↑	= 0,113
Nper	L17	↑	= 30
Va		↑	= número
Vf	-K17	↑	= -1500000
Tipo		↑	= número

= 7114,961612

Calcula el pago de un préstamo basado en pagos y tasa de interés constantes.

Tasa es la tasa de interés por período del préstamo. Por ejemplo, use 6%/4 para pagos trimestrales al 6% TPA.

Resultado de la fórmula = 7.115

[Ayuda sobre esta función](#)

Aceptar Cancelar

Ilustración 13. Cuadro de diálogo «Argumentos de función» para calcular la anualidad.

- Si se aplica el método contable, el valor del flujo perpetuo expresado como su equivalente al décimo año se obtiene con la siguiente fórmula:

$$=(K50-E21)/B13$$

Lo que arrojaría como resultado \$3.028.805.⁸

Si se aplica el método del costo anual equivalente, la fórmula se ajusta a:

$$=(K50-M21)/B13$$

Con lo que el valor del proyecto sería de 3.513.022 pesos, como lo muestra la **ilustración 14**.

- El flujo de caja del proyecto se obtiene sumando a la utilidad neta el ajuste por gastos no desembolsables y los costos y beneficios no afectos a impuesto.

⁸ El flujo promedio anual perpetuo, en este caso, será igual que la utilidad neta, lo que hace aún más fácil su cálculo.

AM131												
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
25		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
26	Ingreso		602.336	741.203	836.838	912.085	975.081	1.029.768	1.056.000	1.056.000	1.056.000	1.056.000
27	Venta activos					30.000		108.000		30.000		
28	C.variable		-225.876	-277.951	-313.814	-328.351	-351.029	-370.717	-380.160	-380.160	-380.160	-380.160
29	C.fijo		-90.000	-90.000	-103.500	-103.500	-103.500	-103.500	-103.500	-103.500	-103.500	-103.500
30	Depreciación construcción		-50.000	-50.000	-50.000	-50.000	-50.000	-50.000	-50.000	-50.000	-50.000	-50.000
31	Depreciación maquinaria		-36.000	-36.000	-36.000	-36.000	-36.000	-36.000	-36.000	-36.000	-36.000	-36.000
32	Depreciación equipamiento		-24.000	-24.000	-24.000	-24.000	-24.000	-24.000	-24.000	-24.000	-24.000	-24.000
33	Depreciación maquina ampliación		0	0	0	0	-6.000	-6.000	-6.000	-6.000	-6.000	-6.000
34	Valores libro					-24.000		-144.000		-24.000		
35	Utilidad		176.460	263.252	309.524	376.234	404.552	403.552	456.340	462.340	456.340	456.340
36	Impuesto		-44.115	-65.813	-77.381	-94.059	-101.138	-100.888	-114.085	-115.585	-114.085	-114.085
37	Utilidad neta		132.345	197.439	232.143	282.176	303.414	302.664	342.255	346.755	342.255	342.255
38	Depreciación construcción		50.000	50.000	50.000	50.000	50.000	50.000	50.000	50.000	50.000	50.000
39	Depreciación maquinaria		36.000	36.000	36.000	36.000	36.000	36.000	36.000	36.000	36.000	36.000
40	Proyección cantidad vendida		24.000	24.000	24.000	24.000	24.000	24.000	24.000	24.000	24.000	24.000
41	Depreciación maquina ampliación		0	0	0	0	6.000	6.000	6.000	6.000	6.000	6.000
42	Valores libro					24.000		144.000		24.000		
43	Terreno	-280.000										
44	Construcción	-1.500.000										
45	Maquinarias	-360.000						-360.000				
46	Equipos	-120.000				-120.000			-120.000			
47	Máquina ampliación		0	0	0	-60.000	0	0	0	0	0	0
48	Capital de trabajo	-78.969	-13.019	-12.341	-3.634	-5.670	-4.922	-2.361	0	0	0	120.915
49	Valor de desecho											1.592.000
50	Flujo del proyecto	-2.338.969	229.326	295.098	338.509	230.506	414.492	200.303	458.255	366.755	458.255	2.171.170

Ilustración 14. Flujo de caja con valor residual contable.

En la **ilustración 14** se muestra el resultado si el valor residual del proyecto se calcula por el método contable, donde se ha agregado el valor de todo lo invertido en capital de trabajo como un activo más del que será propietario el inversionista.

Sí, en el flujo de caja el valor residual del proyecto se determina por el método económico, como se muestra en la **ilustración 15**. En este caso, no se incluye la valoración del capital de trabajo, ya que lo invertido se requiere para generar los flujos futuros.

El modelo de simulación se aplica de manera uniforme, independientemente del método seleccionado, ya que todas las

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
25		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
26	Ingreso		602.336	741.203	836.838	912.085	975.081	1.029.768	1.056.000	1.056.000	1.056.000	1.056.000
27	Venta activos					30.000		108.000		30.000		
28	C.variable		-225.876	-277.951	-313.814	-328.351	-351.029	-370.717	-380.160	-380.160	-380.160	-380.160
29	C.fijo		-90.000	-90.000	-103.500	-103.500	-103.500	-103.500	-103.500	-103.500	-103.500	-103.500
30	Depreciación construcción		-50.000	-50.000	-50.000	-50.000	-50.000	-50.000	-50.000	-50.000	-50.000	-50.000
31	Depreciación maquinaria		-36.000	-36.000	-36.000	-36.000	-36.000	-36.000	-36.000	-36.000	-36.000	-36.000
32	Depreciación equipamiento		-24.000	-24.000	-24.000	-24.000	-24.000	-24.000	-24.000	-24.000	-24.000	-24.000
33	Depreciación maquina ampliación		0	0	0	0	-6.000	-6.000	-6.000	-6.000	-6.000	-6.000
34	Valores libro					-24.000		-144.000		-24.000		
35	Utilidad		176.460	263.252	309.524	376.234	404.552	403.552	456.340	462.340	456.340	456.340
36	Impuesto		-44.115	-65.813	-77.381	-94.059	-101.138	-100.888	-114.085	-115.585	-114.085	-114.085
37	Utilidad neta		132.345	197.439	232.143	282.176	303.414	302.664	342.255	346.755	342.255	342.255
38	Depreciación construcción		50.000	50.000	50.000	50.000	50.000	50.000	50.000	50.000	50.000	50.000
39	Depreciación maquinaria		36.000	36.000	36.000	36.000	36.000	36.000	36.000	36.000	36.000	36.000
40	Proyección cantidad venta		24.000	24.000	24.000	24.000	24.000	24.000	24.000	24.000	24.000	24.000
41	Depreciación maquina ampliación		0	0	0	0	6.000	6.000	6.000	6.000	6.000	6.000
42	Valores libro					24.000		144.000		24.000		
43	Terreno	-280.000										
44	Construcción	-1.500.000										
45	Maquinarias	-360.000						-360.000				
46	Equipos	-120.000				-120.000			-120.000			
47	Máquina ampliación		0	0	0	-60.000	0	0	0	0	0	0
48	Capital de trabajo	-78.969	-13.019	-12.341	-3.634	-5.670	-4.922	-2.361	0	0	0	
49	Valor de desecho											3.513.022
50	Flujo del proyecto	-2.338.969	229.326	295.098	338.509	230.506	414.492	200.303	458.255	366.755	458.255	3.971.277

Ilustración 15. Flujo de caja con valor residual económico.

celas están referenciadas a los datos originales. No obstante, para demostrar la aplicación del modelo de Monte Carlo con el *software* Risk Simulator, se usará exclusivamente el segundo flujo tanto para medir la rentabilidad como para analizar el riesgo.

EVALUACIÓN DEL PROYECTO

Como se explicó en el capítulo anterior, la evaluación se realizará mediante el cálculo del valor actual neto. Este proceso consiste en llevar los flujos de caja proyectados de los años uno a diez a su valor equi-

valente en el presente (momento cero), descontándolos a la tasa de costo del capital. A ese resultado se le restará la inversión inicial para determinar el VAN. Si es cero, significa que el proyecto alcanza exactamente la tasa de rentabilidad requerida y se recupera la inversión.

La función «VNA» de Excel, que calcula el valor presente de un flujo de caja con diferentes valores, se escribe de la siguiente manera:

$$=VNA(11,3\%;C50:L50)$$

El resultado obtenido es de 3.096.603 pesos. Esto indica que para el inversionista es indiferente mantener el proyecto o venderlo en este monto. Si decide venderlo, los fondos obtenidos podrán ser invertidos a la tasa del 11,3 % anual, permitiéndole retirar exactamente lo mismo que recibiría si opta por mantener el proyecto, como se demuestra en la **ilustración 16**. Esta equivalencia asegura que, financieramente, ambas opciones serían indiferentes para el inversionista, brindando la misma rentabilidad esperada.

Aunque la inversión inicial fue de 2.338.969 pesos, el proyecto tiene un valor actual de 3.096.603 pesos. Esto significa que, si se invierte en este proyecto, la riqueza del inversionista aumentará en 757.634 pesos.

La comprensión de estos conceptos es fundamental para entender el resultado de los análisis de riesgo y la viabilidad del proyecto. En la tabla de la **ilustración 17** se explica que el inversionista, si realiza el proyecto, al cabo de diez años habrá ganado una rentabilidad anual de 11,3 %, recuperará completamente la inversión inicial y, además, obtendrá un excedente de 757.634 pesos. La tabla proporciona una visión clara y detallada de cómo los flujos de caja anuales contribuyen al aumento de la riqueza del inversionista.

- *Primera columna:* la inversión pendiente de recuperación cada año.
- *Segunda columna:* el flujo de caja anual.
- *Tercera columna:* la rentabilidad exigida que se extraerá de cada cuota.

N112	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
72		Hoy	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
73	Saldo inicial		3.096.603	3.217.193	3.285.637	3.318.406	3.462.880	3.439.693	3.628.076	3.579.793	3.617.555	3.568.083
74	Interés ganado		349.916	363.543	371.277	374.980	391.305	388.685	409.973	404.517	408.784	403.193
75	Saldo parcial		3.446.519	3.580.736	3.656.914	3.693.386	3.854.185	3.828.378	4.038.048	3.984.310	4.026.338	3.971.277
76	Retiro		-229.326	-295.098	-338.509	-230.506	-414.492	-200.303	-458.255	-366.755	-458.255	-3.971.277
77	Saldo final		3.096.603	3.217.193	3.285.637	3.318.406	3.462.880	3.439.693	3.628.076	3.579.793	3.617.555	3.568.083
78												0

Ilustración 16. Comprobación valor actual equivalente.

F20	A	B	C	D
	Saldo por recuperar	Flujo anual	Rentabilidad exigida	Recuperación inversión
1				
2	2.338.969	229.326	264.303	-34.977
3	2.373.946	295.098	268.256	26.842
4	2.347.104	338.509	265.223	73.286
5	2.273.818	230.506	256.941	-26.435
6	2.300.254	414.492	259.929	154.563
7	2.145.690	200.303	242.463	-42.160
8	2.187.850	458.255	247.227	211.028
9	1.976.823	366.755	223.381	143.374
10	1.833.449	458.255	207.180	251.075
11	1.582.373	3.971.277	178.808	3.792.469
12	Saldo después de sacar rentabilidad			4.549.064
13	Inversión			-2.338.969
14	Saldo al 10° año después de recuperar inversión			2.210.095
15	Valor actual del saldo final			757.634

Ilustración 17. Cálculo del Valor Actual Neto (VAN) por desagregación anual.

- *Cuarta columna:* el remanente del flujo de caja anual después de extraer la rentabilidad exigida, que se considera como la contribución para la recuperación de la inversión inicial.

El VAN calcula cada año la rentabilidad que exige el inversionista sobre el saldo invertido (columna 3). Si es menor que el flujo de caja del año, la diferencia la considera recuperación de la inversión (columna 4). Si es mayor, la diferencia se carga a la inversión inicial, aumentando así el capital pendiente de recuperación. Por ejemplo, el 11,3 % de los 2.338.969 pesos invertidos inicialmente es de 264.303 pesos, pero el flujo de caja del primer año es solo de 229.326 pesos. Esto significa que faltarían 34.977 pesos, que se suman a la inversión

inicial. En el segundo año, con 2.373.946 pesos por recuperar, el VAN calcula una rentabilidad del 11,3 % sobre ese monto, resultando en 268.256 pesos. La diferencia entre el flujo de ese año y la rentabilidad exigida así calculada, se considera parte de la recuperación de la inversión inicial.

La suma de la última columna de la tabla muestra que, después de ganar anualmente el 11,3 % anual sobre los saldos no recuperados de la inversión, queda un excedente de 4.549.064 pesos al final del décimo año. Con esto, se pueden recuperar los 2.338.969 pesos invertidos y quedarse con un excedente de 2.210.095 pesos al final del décimo año. Expresando ese monto como un valor equivalente al momento cero, se obtiene un valor idéntico al calculado con la fórmula del VAN (**ilustración 17**).

Esto explica por qué un VAN de cero hace elegible al proyecto, ya que asegura que los ingresos futuros serán suficientes para cubrir la inversión inicial y proporcionar la rentabilidad requerida. Además, explica por qué los modelos de sensibilidad tomarán este valor como el mínimo aceptable para evaluar la viabilidad en diferentes escenarios.

CONSIDERACIONES FINALES

En este capítulo se ha profundizado en la estructuración y modelación del flujo de caja en Excel para el análisis de riesgos en la evaluación de proyectos. Se ha aprendido a vincular cálculos financieros con celdas de origen para construir flujos de caja que capturen tanto la complejidad de las operaciones como las variaciones del mercado, y para evaluar correctamente la rentabilidad de la inversión en los diversos escenarios que se generen. De esta forma, se estará preparado para los próximos capítulos, donde se analizarán y utilizarán técnicas avanzadas, como el Risk Simulator, para realizar la simulación de Monte Carlo y obtener resultados más completos y confiables para la toma de decisiones en condiciones de riesgo.

CAPÍTULO 3

Aplicación de la simulación de Monte Carlo con Risk Simulator

Objetivos de aprendizaje

- 1.** Comprender el modelo de simulación Monte Carlo y su aplicación en la evaluación de proyectos.
- 2.** Definir correctamente las variables de entrada y los pronósticos (variables de salida) más relevantes.
- 3.** Asignar distribuciones de probabilidad apropiadas a las variables de entrada utilizando Risk Simulator.
- 4.** Configurar y ejecutar la simulación.

Aplicación de la simulación de Monte Carlo con Risk Simulator

La simulación de Monte Carlo es una técnica cuantitativa fundamental que se basa en el uso de muestreo aleatorio y distribuciones de probabilidad para modelar el comportamiento incierto de las variables relevantes de un proyecto. Estas variables se representan como distribuciones de probabilidad, permitiendo generar pronósticos del valor esperado de la rentabilidad, cuantificar la dispersión de los resultados y calcular la probabilidad objetiva del éxito o fracaso de un proyecto.

Este enfoque realiza miles de iteraciones, utilizando valores aleatorios extraídos de las distribuciones de probabilidad asignadas a las variables relevantes. A través de estas simulaciones, se puede identificar y cuantificar las variables que representan mayores riesgos para el proyecto.

Además, la simulación de Monte Carlo permite obtener una visión detallada y probabilística de los posibles resultados, ofreciendo a los evaluadores herramientas concretas para analizar los riesgos.

VARIABLES DEL MODELO

En el contexto de la simulación de Monte Carlo, el modelado del sistema de la evaluación del proyecto es un proceso fundamental para

generar información relevante. Esto implica crear una representación matemática que conecte las variables independientes con la variable dependiente.

Variables independientes

También conocidas como variables de entrada, son los factores o parámetros que influyen directamente en los resultados del modelo de simulación. Estas variables se caracterizan por su naturaleza incierta, es decir, que sus valores pueden variar dentro de un rango específico representado mediante distribuciones de probabilidad. Estas distribuciones reflejan la posible dispersión de los valores que estas variables pueden asumir, capturando la variabilidad inherente a cada una. Las variables independientes pueden clasificarse en varios tipos:

- *Monetarias*: incluyen elementos como el precio, los costos y las inversiones.
- *Porcentuales*: corresponden a tasas como impuestos, costo de la deuda, porcentaje de mermas o participación de mercado, entre otras.
- *Temporales*: son variables expresadas en función del tiempo, como el periodo de desfase a cubrir con capital de trabajo, el tiempo de detención de la producción para mantenimiento preventivo o las horas hombre necesarias para la fabricación de una unidad del producto final.
- *Físicas*: incluyen unidades producidas, volúmenes a transportar o la cantidad de residuos a eliminar.

Representar el valor de las variables de entrada mediante distribuciones de probabilidad permite capturar su variabilidad natural, proporcionando una imagen más precisa del posible comportamiento y rentabilidad del proyecto.

Variables dependientes

Las variables dependientes, conocidas también como «variables de salida» o «pronóstico de salida», son los resultados generados por el modelo de simulación a partir de los valores asumidos aleatoriamente por las variables independientes. Estas variables dependen directa y completamente de los valores y de las interacciones de las variables de entrada. En la evaluación de proyectos, las variables de salida más comunes son los distintos indicadores de rentabilidad como el valor actual neto y la tasa interna de retorno, el periodo de recuperación de la inversión y el valor del proyecto al final del horizonte de evaluación.

Además, existen otras variables intermedias que pueden ser consideradas como variables de salida. Por ejemplo, la demanda, el ingreso, los costos operacionales y cualquier otra variable cuyo comportamiento dependa de los valores que asuman las variables de entrada en distintos escenarios.

Un adecuado modelado de las complejidades e interacciones de las variables independientes, junto con una definición precisa de las distribuciones de probabilidad que representen sus posibles comportamientos, es fundamental para generar una representación confiable del comportamiento esperado del pronóstico de salida y los riesgos asociados.

PROCESO DE MONTE CARLO

El modelo de simulación de Monte Carlo se desarrolla en cinco etapas básicas:

1. *Identificación de las variables de entrada relevantes:* se determinan las variables cuyo valor tiene un impacto significativo en los resultados del modelo.
2. *Selección de las variables de salida:* se seleccionan las variables cuyo comportamiento se analizará en la simulación. Es posible

elegir múltiples variables como pronósticos de salida para obtener —de una misma simulación— más de un resultado. Analizar varias variables de salida permite evaluar distintos aspectos de la rentabilidad y el riesgo, proporcionando una comprensión más integral del proyecto.

3. *Asignación de distribuciones de probabilidad a las variables de entrada:* se selecciona la distribución de probabilidad que mejor refleje los posibles comportamientos de las variables identificadas.
4. *Ejecución de la simulación:* se define el número de iteraciones y se ejecuta la simulación para producir múltiples escenarios de resultados basados en los valores aleatorios de las variables de entrada.
5. *Presentación de resultados:* se extraen los datos relevantes para cuantificar el riesgo, identificar las variables que más influyen en los resultados y realizar los análisis de sensibilidad para evaluar cómo los cambios en las variables afectan los resultados finales. Además, se realizan análisis para buscar puntos de equilibrio de las variables más correlacionadas con el resultado.

IDENTIFICACIÓN DE LAS VARIABLES DE ENTRADA RELEVANTES

La identificación de las variables de entrada relevantes es una etapa fundamental en el proceso de simulación de Monte Carlo, ya que no todas tienen el mismo impacto en el resultado del proyecto. Conocer cuáles son las más influyentes permite enfocar el análisis en profundizar la comprensión de su comportamiento, mejorando así la precisión de las predicciones.

La magnitud de su impacto puede variar significativamente dependiendo del contexto del proyecto. Por ejemplo, un error de un 10 % en la estimación del valor de los equipos de computación afectará de manera muy distinta a un proyecto de creación de un cemen-

terio parque en comparación con uno de servicios informáticos. En el primer caso, probablemente no se considerará incluir el valor en la simulación debido a su casi nulo impacto en la rentabilidad, mientras que en el segundo caso se realizará una definición más precisa de los valores posibles para la simulación. Esta diferencia radica en la naturaleza y estructura de costos y beneficios de cada proyecto.

Para identificar las variables relevantes se puede realizar un análisis de sensibilidad en Excel o, si se dispone del *software* Risk Simulator, obtenerlo directamente utilizando la función «Análisis de tornado».

Identificación de variables relevantes con Excel

Este método evalúa cómo las variaciones en las variables de entrada afectan el resultado del pronóstico de salida, generalmente el valor actual neto. Los pasos a seguir son:

- *Establecer rangos de variación:* definir un rango de variación razonable que refleje las posibles fluctuaciones en los valores de cada variable que influya en el resultado. Por ejemplo, si se está estimando la inversión en la construcción, se puede establecer un rango de -2 % hasta más 10 %.
- *Simulación inicial:* modificar una a una cada variable de entrada, cambiando su valor por el límite inferior del rango definido, mientras se mantienen las demás constantes, y registrar el efecto en la variable de salida. Repetir el procedimiento utilizando el límite superior del rango. Esto permite observar el impacto de cada variable de entrada en el resultado.
- *Calcular la sensibilidad:* determinar el rango o magnitud de la variación observada en la rentabilidad al ajustar el valor de cada variable a sus límites superior e inferior del rango. Este análisis de sensibilidad ayuda a jerarquizar las variables por su relevancia, evaluando cuánto impactan en la desviación del resultado del proyecto.

Mediante estos pasos, se identifica de manera sistemática cuáles son las variables de entrada más críticas y, por ende, se puede enfocar el análisis en las variables más relevantes.

Herramientas básicas del Risk Simulator

Al acceder a la pestaña «Simulador de Riesgo» en Excel, se despliega el menú de herramientas como se muestra en la **ilustración 18**.

Las principales herramientas disponibles son:

- *Nuevo perfil*: permite configurar las propiedades específicas de la simulación, como:
- *Nombre del perfil*: permite identificar la simulación con un nombre personalizado o aceptar la propuesta predeterminada como «Nueva simulación».
- *Número de pruebas*: indica la cantidad de iteraciones o escenarios que ejecutará la simulación. Determinar la cantidad adecuada requiere ejecutar la simulación varias veces, comenzando con un número moderado de iteraciones (1.000 a 5.000), y aumentándolo hasta observar que la media y la desviación estándar dejan de mostrar una variación significativa respecto de los valores obtenidos en la simulación con el tamaño anterior.
- *Activar correlaciones*: permite incorporar relaciones o dependencia entre variables independientes, de manera que al variar una de forma aleatoria la otra se ajuste de manera coherente.
- *Especificar la secuencia de números aleatorios*: define la secuencia de números aleatorios utilizados en la simulación. Al activar esta opción y especificar un número, la simulación siempre iniciará desde el mismo punto y arrojará el mismo resultado al repetirse el proceso.

Para ejecutar la simulación en el ejemplo desarrollado, se mantuvo el nombre «Nueva simulación», se definieron 10.000 escenarios, se activaron las correlaciones y se fijó el número 876.991 de manera

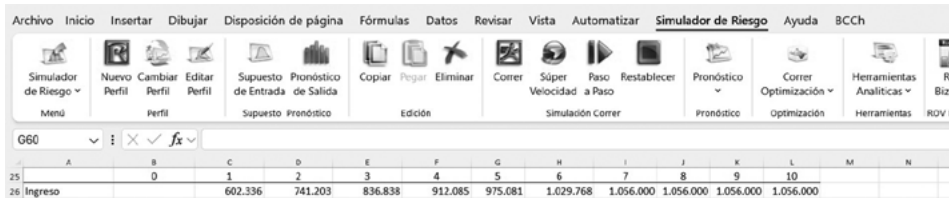


Ilustración 18. Menú de herramientas de Risk Simulator.

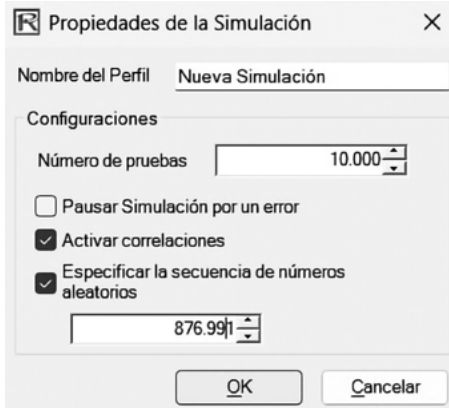


Ilustración 19. Propiedades de la Simulación.

arbitraria para iniciar la secuencia de números aleatorios,⁹ como se muestra en la **ilustración 19**.

En Risk Simulator, la herramienta utilizada para identificar las variables relevantes se denomina «Análisis Tornado». Esta función se encuentra en la pestaña «Herramientas Analíticas del menú del Simulador de Riesgo» (disponible en el menú de herramientas de Excel una vez instalado el *software*).

En otros simuladores, la herramienta denominada «Tornado» se utiliza para determinar la correlación observada entre los cambios en las variables y los resultados después de múltiples iteraciones.

⁹ Asignar un valor permite que, al replicar el ejercicio, se obtengan los mismos resultados. Cuando el error de precisión con respecto a la media se encuentra por debajo del 0,1 %, se obtendrán valores muy cercanos en la simulación a pesar de no haber asignado un valor de semilla.

En el caso del Risk Simulator, esta funcionalidad se realiza a través de la herramienta «Sensibilización», la cual se explicará detalladamente más adelante

El «Análisis Tornado» evalúa todas las celdas precedentes que influyen en la fórmula de la celda de la variable de salida, rastreando hasta las celdas con datos originales. Luego, prueba automáticamente el impacto de cada variable sobre el VAN, simulando una variabilidad predeterminada de $\pm 10\%$, la cual puede ser ajustada en cualquiera de los dos límites en cada variable según sea necesario.

La ventaja del *software* radica en su capacidad para realizar un análisis estático con un mínimo de instrucciones, permitiendo así obtener la jerarquización completa de las variables independientes de manera automática, ordenándolas según su impacto de mayor a menor en el resultado.

Este análisis facilita la identificación rápida y completa de las variables más influyentes en el resultado.

A continuación, se explican en detalle los pasos para evaluar el impacto individual sobre la rentabilidad del proyecto, utilizando el ejemplo desarrollado en el capítulo anterior.

- *Herramienta Tornado*: Coloque el cursor en la celda donde se calculó el Valor Actual Neto (B51) y abra la pestaña «Simulador de Riesgo» (si se instaló en español). Seleccione el menú «Herramientas Analíticas» para acceder a las funcionalidades disponibles, como se muestra en la **ilustración 20**.

Al seleccionar la opción «Análisis Tornado» en el menú del *software*, se despliega un cuadro de diálogo que muestra todas las variables precedentes utilizadas en el cálculo del valor actual neto. Este cuadro, ofrece la flexibilidad de excluir algunas del análisis o ajustar la variación porcentual estándar del rango (por defecto $\pm 10\%$) seleccionando la opción «Editar», como se muestra en la **ilustración 21**.

En ciertos casos, ampliar este rango puede ser beneficioso para capturar el efecto de valores extremos que podrían tener

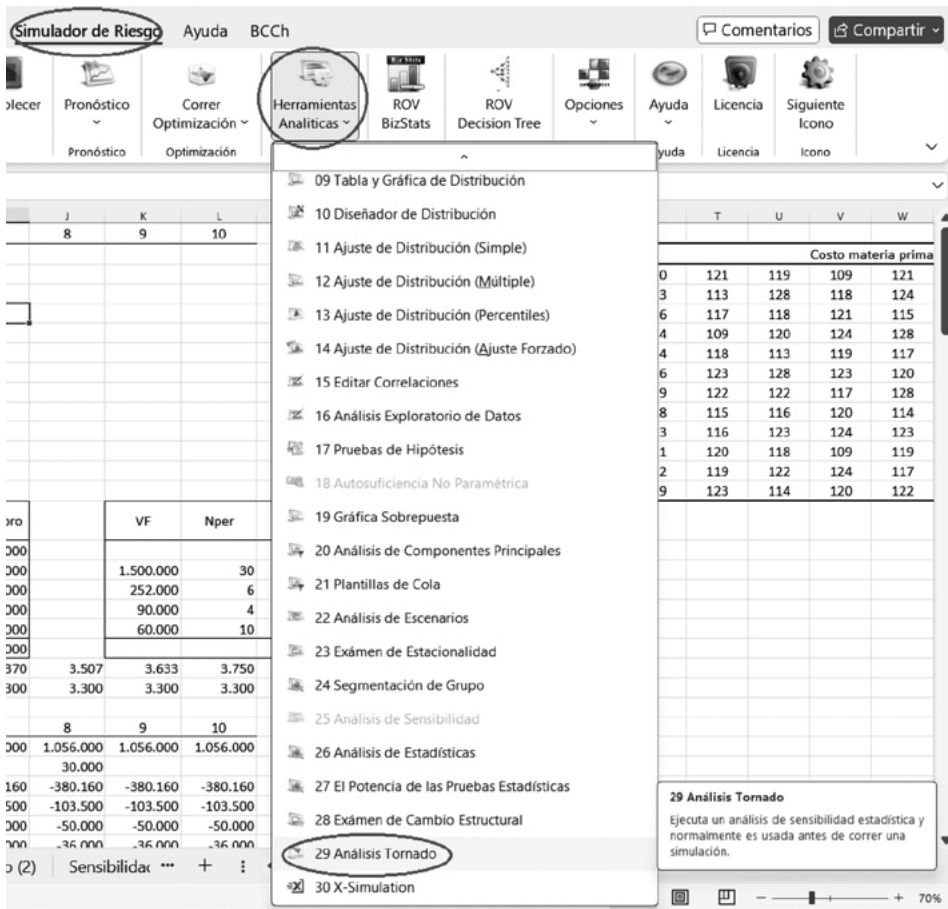


Ilustración 20. Menú «Herramientas Analíticas».

una influencia significativa en la variable de interés. Por ejemplo, en situaciones de deseconomías de escala donde los costos unitarios variables pueden cambiar drásticamente en respuesta a variaciones en los volúmenes de insumos comprados.

Algunas funcionalidades importantes del cuadro de diálogo «Análisis Tornado» son:

- *Excluir variables*: se puede excluir las variables que se deseen mantener constantes desmarcándolas en la columna «Sel». Para este ejemplo, las variables años para depreciar, tasa de

Análisis Tornado

El Análisis Tornado crea alteraciones estáticas (p.ej. Cada precedente es alterado uno a la vez) para identificar el impacto en los resultados. Sirve para identificar los factores críticos de éxito de un modelo antes de ejecutar simulaciones.

Evaluar los precedentes que se muestran abajo y hacer los cambios necesarios:

Se	Nombre	Hoja de Trabajo	Celda	Caso Base	% Superior	% Desventaja	Los Puntos de
☒	Construcción	Flujo (VD econ)	B17	1500000	10%	10%	10
☒	Maquinarias	Flujo (VD econ)	B18	360000	10%	10%	10
☒	Equipos	Flujo (VD econ)	B19	120000	10%	10%	10
☒	Capital de trabaj	Flujo (VD econ)	B9	3	10%	10%	10
☒	Costo variable	Flujo (VD econ)	D7	0.04	10%	10%	10
☒	Costo variable	Flujo (VD econ)	B7	120	10%	10%	10
☒	Costo variable	Flujo (VD econ)	C7	2800	10%	10%	10
☒	Capacidad máxi	Flujo (VD econ)	C6	3300	10%	10%	10
☒	b	Flujo (VD econ)	B4	0,2993	10%	10%	10
☒	a	Flujo (VD econ)	B3	1882,3	10%	10%	10
☒	Costo fijo	Flujo (VD econ)	D8	0,15	10%	10%	10

Opciones

☐ Muestre Todas Variables
 ☐ Use la dirección de la celda

☒ Muestre Variable(s) 15 Variable
 ☐ Seleccione los posibles números enteros

☒ Ignore cero o vacío los valores
 ☐ Use configuración global

☐ No haga caso de todos los posibles valores
 ☐ Identificar años

☐ Tiempo Máximo de ejecución (seg) 600
 ☒ Trace Etiqueta Celda Nombre (12)

☒ Sólo analice esta hoja de trabajo
 ☐ Analice todas las hojas de trabajo

Nombre:

Ilustración 21. Análisis Tornado.

impuestos, tasa de costo de capital y el número de la columna utilizado en el cálculo de los años ya depreciados.

- *Número de variables:* en «Opciones» puede activar el botón «Muestre Todas Variables» o especificar un número determinado llenando la casilla «Muestre Variable(s)». Para este ejemplo, se solicitaron las quince más relevantes.
- *Nombre variable:* al desmarcar la opción «Use la dirección de la celda», en la segunda columna del cuadro de diálogo aparecerán los nombres de las variables. Es necesario desmarcar la opción «Usar la dirección de la celda» y, en «Trace Etiqueta» elegir «Celda Nombre...». Asegúrese de que a la izquierda de la celda con datos de origen aparezca el nombre de la variable tal como se quiere que aparezca en el informe. De lo contrario, aparecerá el número de la celda, similar a lo que muestra la columna bajo el nombre «Celda».
- *Tornado y araña:* al marcar «OK», se generará en una hoja nueva el gráfico de araña, el gráfico de barras y la tabla que muestra cuánto cambia el valor actual neto si cada variable cambia independientemente entre los dos valores límite del rango.
- *Excel:* Al marcar «Excel» aparecerán dos hojas nuevas. Una contendrá la misma información que al marcar «OK» (Tornado) y la otra (Tornado Gráfico) incluirá gráficas de barras más suaves y una tabla con la variación total en el valor actual neto.

Como en este ejemplo se trabajó solo con una hoja, se dejará activa la opción «Solo analice esta hoja de trabajo». Si hubiera más hojas de trabajo vinculadas, se deberá optar por «Analice todas las hojas de trabajo».

Las **ilustraciones 22 y 23** muestran dos versiones de la hoja «Tornado» en Excel, que se generan al marcar «OK» o «Excel» en el cuadro de diálogo «Análisis Tornado», diferenciándose solo en la forma

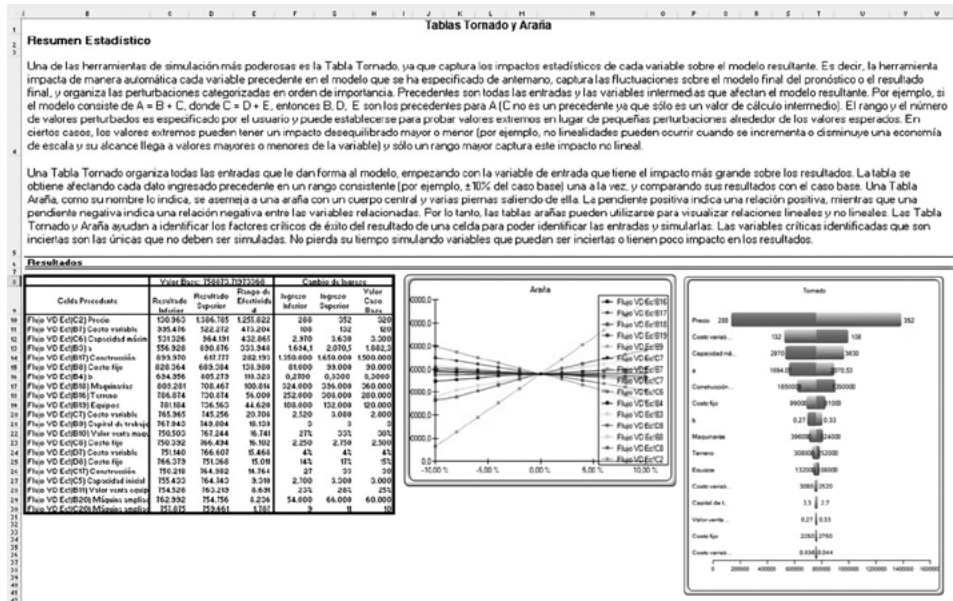


Ilustración 22. Tablas de Araña y Tornado.

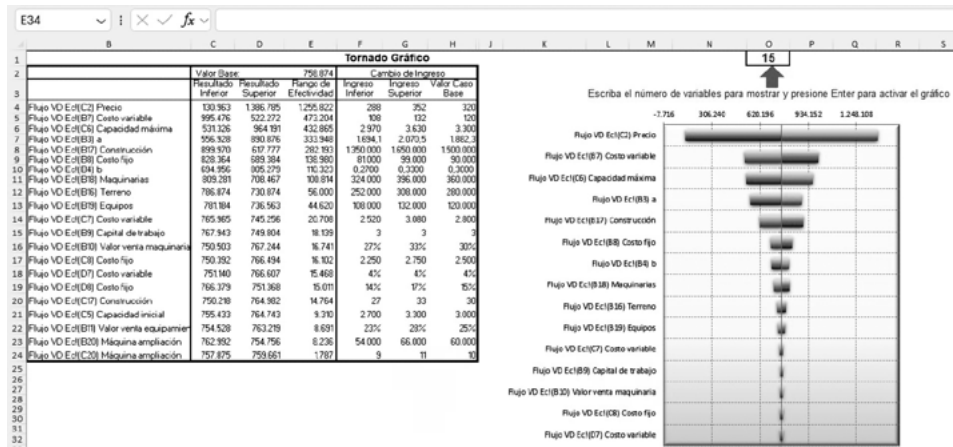


Ilustración 23. Tornado Gráfico.

de mostrar la sensibilidad de las variables de entrada sobre la variable de salida:

- *Tabla de Araña y de Tornado*: ordena las variables de mayor a menor rango de impacto sobre el VAN.
- *Gráfico Araña*: representa la variabilidad mediante líneas que indican tanto la dirección de la asociación como el grado de impacto (pendiente).
- *Gráfico Tornado*: jerarquiza las variables por su impacto relativo en la variable de salida, presentándolas en barras horizontales.

Para el caso que se ejemplifica, las variables que al variar en un 10 % más influyen en el VAN son el precio, el costo variable, la capacidad máxima de producción y la constante «a» de la función de regresión que explica el crecimiento en la demanda.

Estas cuatro variables deben estudiarse con mayor profundidad al asignarles una distribución de probabilidades que represente adecuadamente su comportamiento esperado.

A continuación, se encuentran el costo de la construcción, la pendiente de la función de regresión del crecimiento de la demanda «b», el costo fijo mensual y el monto de la inversión en la máquina. Para estas variables, se puede asignar una distribución de probabilidades basada en el criterio del evaluador.

Las demás variables no muestran una incidencia significativa en el resultado de la rentabilidad, por lo que se puede optar por omitirlas de la simulación (dejándolas fijas) o simplemente asignarles una distribución normal o uniforme.

La jerarquización obtenida con la herramienta «Tornado» no implica que las variables que aparecen con mayor impacto sean necesariamente las más riesgosas. Simplemente señala aquellas que requieren de un análisis más detallado en una simulación de riesgos cuando se les asigne un comportamiento probabilístico. Será el resultado de la simulación el que revele cuáles son las variables que, desde una perspectiva probabilística, afectarán más la rentabilidad.

SELECCIÓN DE LAS VARIABLES DE SALIDA

Las variables o pronósticos de salida representan los resultados que se pretenden medir mediante la simulación de Monte Carlo. Estas métricas representan los principales indicadores de desempeño que consideran los inversionistas, conocidas generalmente por la sigla KPI (*Key Performance Indicators*) y que se utilizan para evaluar la viabilidad de un proyecto en función de la rentabilidad exigida o costo de capital.

Si bien para el objetivo de este texto es claro que el pronóstico de salida más importante es el VAN, es preciso señalar que en otras situaciones su elección se debe basar en las siguientes consideraciones principales:

- *Relevancia*: una variable es relevante si la información que provee tiene un impacto significativo en la toma de decisiones.
- *Medición*: deben ser medibles y estar basadas en datos confiables.
- *Flexibilidad*: deben estar modeladas de manera tal que sean flexibles y adaptables para ajustarse a las condiciones de cada escenario simulado.

La decisión sobre qué variables incluir como salidas depende, en gran medida, de los objetivos específicos del análisis y de las necesidades de información de los *stakeholders* involucrados, como la evaluación de la capacidad de pago de un eventual préstamo para financiar la inversión.

Incorporar múltiples variables de salida ofrece la ventaja de proporcionar una perspectiva más amplia de los riesgos asociados con el proyecto. Sin embargo, es importante evitar el exceso de información, ya que podría desviar la atención del foco central del análisis.

ASIGNACIÓN DE DISTRIBUCIONES DE PROBABILIDAD A LAS VARIABLES DE ENTRADA

La importancia de asignar correctamente las distribuciones de probabilidad a las variables de entrada en la simulación de Monte Carlo

se fundamenta en que define su comportamiento en los diferentes escenarios simulados. Cada variable de entrada podrá variar dentro de un rango específico influenciado por la incertidumbre inherente al proyecto o proceso evaluado.

La elección de la distribución de probabilidad adecuada depende de la naturaleza de la variable y de los datos disponibles. Para el caso de las variables identificadas como más relevantes en el análisis de «Tornado» se debe realizar un análisis más profundo para asegurar que la distribución seleccionada refleje de manera precisa la incertidumbre y variabilidad esperada en cada variable de entrada.

Para asignar una distribución de probabilidad a una variable de entrada, se selecciona un tipo de distribución que mejor represente la incertidumbre asociada con esa variable. Esto se puede hacer mediante el siguiente proceso:

Comprensión de la naturaleza de las variables

Antes de asignar distribuciones de probabilidad, es fundamental comprender la naturaleza de cada variable de entrada. Como ya se mencionó, las variables pueden ser monetarias, porcentuales, temporales o físicas.

Recopilación y análisis de datos

La recopilación de datos históricos es un paso importante para entender cómo se han comportado las variables en el pasado. Este análisis puede incluir:

- *Datos financieros:* historial de precios, costos y márgenes.
- *Datos operativos:* producción, ventas y tiempos de ciclo.
- *Datos de mercado:* tendencias de demanda, participación de mercado y competencia.

Revisar datos históricos y estudios previos sobre proyectos similares proporciona información sobre la variabilidad de su comportamiento pasado. Esto ayuda a identificar patrones y tendencias

que pueden ser relevantes para definir la distribución de probabilidades más adecuada para el proyecto.

Selección de distribuciones apropiadas

La selección de la distribución de probabilidad más adecuada para cada variable de entrada definirá el comportamiento esperado de las variables de salida. Una elección incorrecta puede llevar a resultados engañosos y a una evaluación errónea del riesgo del proyecto.

- *Definición de la distribución de probabilidad:* las distribuciones de probabilidad más frecuentemente utilizadas son:
- *Normal:* utilizada cuando se espera una distribución simétrica alrededor de un valor central, en el que las desviaciones significativas hacia ambos lados del promedio son igualmente probables.
- *Triangular y PERT:* estas distribuciones son útiles cuando se conoce un rango probable de valores y se puede identificar una moda claramente definida. Ambas distribuciones comparten parámetros como la media y la desviación estándar. La forma suavizada de la distribución triangular es lineal mientras que la PERT es más suavizada y cercana a una distribución normal. La curtosis puede diferir, ya que la triangular tiende a ser más platocúrtica (menos concentración en el centro y colas más ligeras) mientras que la PERT puede mostrar una curtosis más cercana a cero (mesocúrtica).
- *Uniforme:* empleada cuando todos los valores dentro de un rango tienen la misma probabilidad. Es útil en escenarios donde no se dispone de suficiente información para suponer otra distribución y todos los resultados dentro del rango son igualmente posibles.
- *Log-normal:* utilizada cuando la variable no puede tomar un valor negativo y muestra un sesgo hacia la derecha.

Risk Simulator ofrece una biblioteca extensa de distribuciones de probabilidad que se pueden asignar a cada variable ajustándola, si fuese necesario, mediante la corrección de los parámetros específicos que el *software* ofrece por defecto. Estos parámetros pueden incluir la media, desviación estándar, valores mínimos y máximos, entre otros.

Una vez definidas las distribuciones y estimados los parámetros, estas se implementan en el Risk Simulator para la simulación de Monte Carlo. Esto implica configurar cada variable de entrada con su distribución correspondiente y establecer los rangos dentro de los cuales variarán los valores durante la simulación.

En caso de contar con información histórica, Risk Simulator puede proponer una función de distribución de probabilidad para una serie de datos proporcionados o, alternativamente, buscar cuál de su biblioteca se ajusta más a esos datos. Esta funcionalidad es especialmente útil para asegurar que las distribuciones seleccionadas sean las más representativas de la realidad.

A continuación, se ejemplifica la asignación de distribuciones de probabilidad utilizando el Risk Simulator en el caso que se ha estado desarrollando, para lo cual se agregarán los siguientes supuestos:

- *Precio*: se opta por asignarle una distribución de probabilidades triangular, manteniendo el precio base como el más probable y asignando al mínimo 260 pesos y al máximo 350 pesos.
- *Costo variable*: dado que se dispone de la serie histórica mensual de los últimos diez años, se recurrirá al Risk Simulator para que genere una distribución de probabilidad personalizada.
- *Capacidad máxima*: se considerará una distribución PERT donde al valor máximo se le asigna la capacidad de diseño o teórica de 3.465 unidades, al valor más probable se le asigna la capacidad efectiva máxima esperada en condiciones normales, incluyendo detención para mantenimiento preventivo, de 3.300 unidades, y al valor mínimo, la capacidad real estimando conservadoramente un 80 % de la capacidad efectiva (2.640 unidades).

- *Valor constante de la función de regresión:* se le asigna una distribución uniforme con límites de un 2 % superior e inferior a la media.
- *Construcción:* se usa una distribución PERT, con un valor mínimo de 1.400.000 pesos y un máximo de 2.000.000 de pesos. Se mantiene el valor base como el más probable.
- *Pendiente de la regresión:* se elige una distribución normal con una desviación estándar del 10 % de la media, excluyendo valores que excedan en un 3 % la media o que sean negativos.
- *Costo fijo:* se asigna una función log-normal, con una desviación estándar del 10 % de la media.
- *Valor máquina principal:* se opta por una distribución uniforme con un límite inferior de un 10 % menos que la media y uno superior del 20 % más que la media.

Asignación de la distribución de probabilidad a las variables del caso

Basados en los supuestos señalados para cada variable, se muestra a continuación cómo usar Risk Simulator para definir las características de cada distribución de probabilidad.

Al posicionarse en la celda que contiene cada variable de entrada y seleccionar el menú «Supuesto de entrada», se abre el cuadro de diálogo «Propiedades de la simulación». En la parte superior izquierda, aparecen ordenadas alfabéticamente todas las distribuciones disponibles en Risk Simulator. En la parte inferior izquierda, se muestra una explicación detallada de la distribución seleccionada y de cómo usarla. A la derecha, se visualiza el gráfico de la distribución y los parámetros que vienen por defecto, los cuales se deben modificar de acuerdo con las características particulares definidas para cada variable, como se muestra en la **ilustración 24**.

A continuación, se describe el procedimiento para las variables de entrada relevantes:

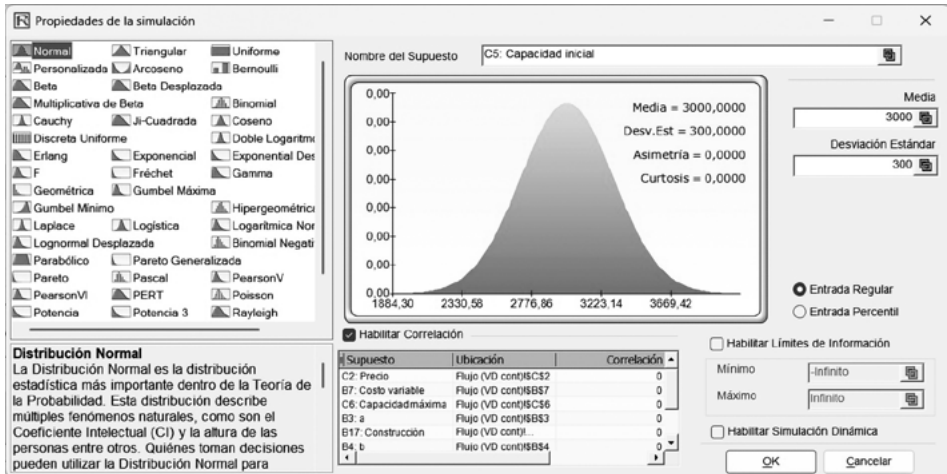


Ilustración 24. Propiedades de la simulación.

- **Precio:** posicione en la celda donde está el precio (C2) y seleccione «Triangular» (por defecto, viene definido como límite inferior el valor de la media menos un 50 % y, como límite superior, el valor de la media más un 50 %). En este caso, se reemplazan ambos límites por los datos específicos del ejercicio (260 para el mínimo, 320 para el más probable y 350 para el máximo), como se muestra en la **ilustración 25**. Al hacer clic en «OK», se cierra el cuadro de diálogo y la celda que contiene al precio se coloreará de verde automáticamente.
- **Costo variable:** considerando la importancia de esta variable, la falta de control sobre su comportamiento futuro y la disponibilidad de series de los costos históricos se recurrirá al Risk Simulator para determinar la distribución. Esta herramienta ofrece dos posibilidades: construir una distribución que modele la serie histórica o buscar cuál de las disponibles se asemeja más a lo que muestran los datos históricos mediante la función «Ajuste de distribución».
- **Construir una distribución:** los datos históricos mostrados en la **ilustración 6** del capítulo anterior deben copiarse en una sola

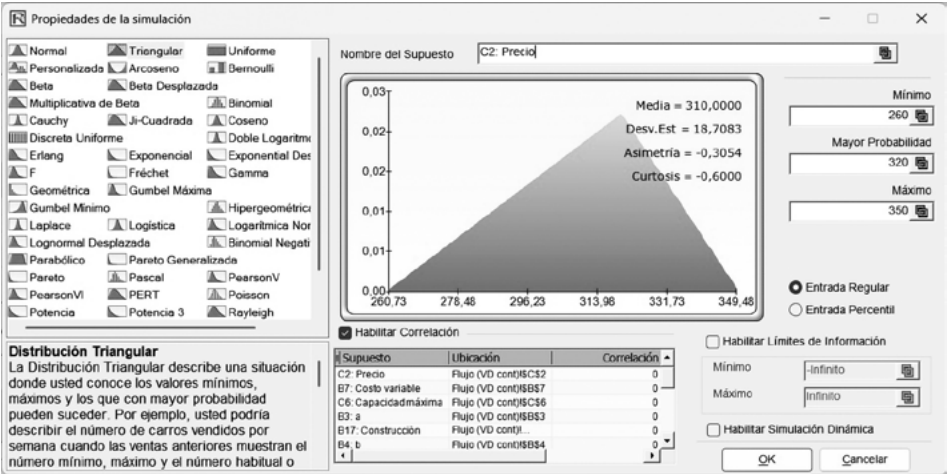


Ilustración 25. Definir supuesto para distribución del precio.

columna. Una vez ordenados, seleccione todos los valores y copie. Luego, haga clic en la celda del costo variable (B7) y seleccione «Supuesto de entrada» en el menú de Risk Simulator. En «Propiedades de la simulación» elija «Personalizada». La **ilustración 26** muestra que aparecerá sin graficar la distribución.

Al marcar «Crear la distribución», aparecerá el cuadro de diálogo «Diseño de la distribución a la medida». Pegue los datos, se mostrarán ordenados de menor a mayor, junto con la cantidad («Peso») y porcentaje («Prob») de veces que cada uno aparece. Seleccione «Gráfica de Actualización» para visualizar el histograma de los datos como se muestra en la **ilustración 27**.

Al marcar «Aplicar» y luego «Cerrar», se transferirá la gráfica de la distribución de probabilidades al cuadro de diálogo «Propiedades de la simulación». Haciendo clic en «OK», la celda correspondiente se coloreará de verde.

- **Ajuste de distribución:** esta opción permite determinar cuál de las 43 distribuciones de probabilidad disponibles se ajusta mejor a la serie de datos.

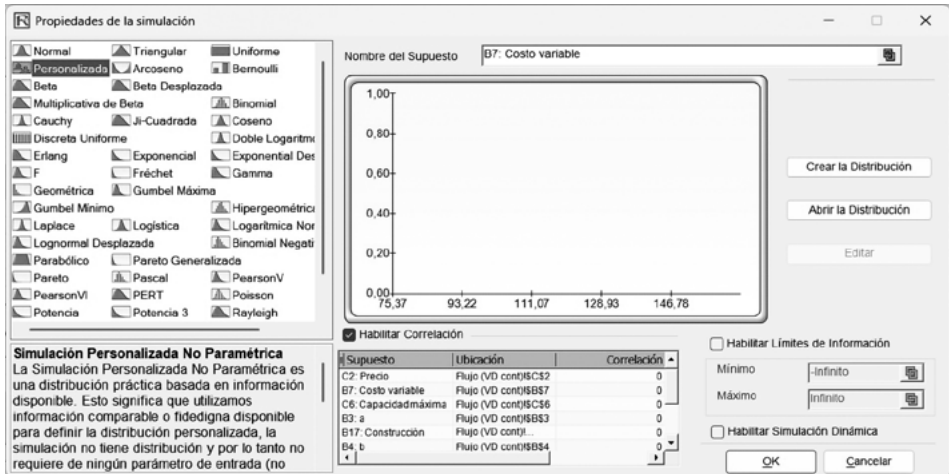


Ilustración 26. Propiedades de la función «Personalizada».

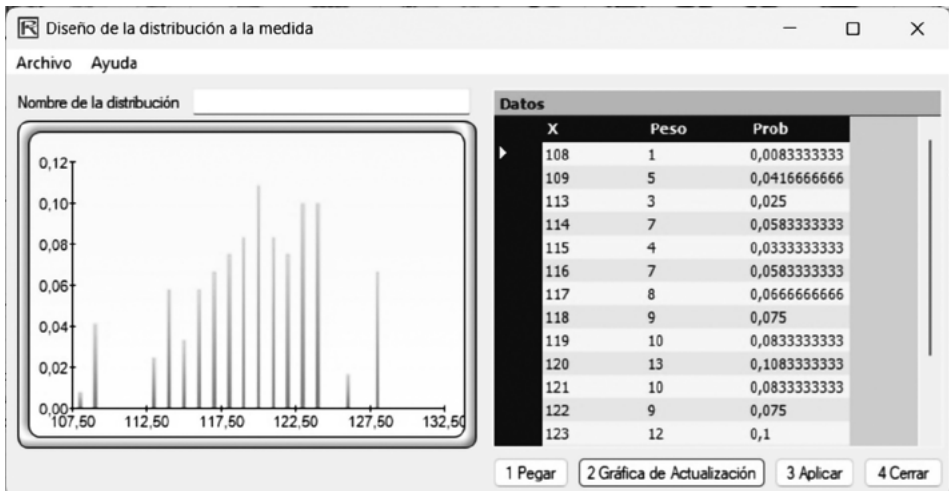


Ilustración 27. Diseño de la distribución a la medida.

Seleccione nuevamente el rango de datos históricos y abra la función «Ajuste de distribución (Simple)» del menú «Herramientas Analíticas» y elija la función «11 Ajuste de Distribución (Simple)», como se muestra en la **ilustración 28**.¹⁰

Al seleccionar esta función se abre el cuadro de diálogo «Ajuste Único». Al hacer clic en «OK», aparecerá el cuadro de diálogo «Resultado Ajustado de la Distribución», como en la **ilustración 29**, en la que se observa que el *software* concluye que la distribución «Gumbel Mínima» es la más adecuada. Esto se debe a que las pruebas de hipótesis indican que los datos se ajustan mejor a esta distribución en comparación con otras.

Para continuar con el desarrollo del ejemplo, se aplicará el resultado obtenido con la opción «Diseño de la distribución a la medida».

- *Capacidad máxima*: seleccione la celda C6 donde se escribió el valor de la capacidad máxima y abra «Supuesto de Entrada». Elija la opción «PERT» y anote los valores mínimos (2.640) y máximo (3.465) definidos en los supuestos, como se muestra en la **ilustración 30**. Al marcar «OK» la celda se coloreará de verde para indicar que se le ha definido una distribución de probabilidad.
- *Valor constante de la función de regresión*: seleccione la celda B3 donde se ubica el valor «a» de la función de regresión, elija «Supuesto de Entrada» y la distribución «Uniforme». Ingrese los límites del rango: 1.845 como mínimo y 1.920 como máximo. La sección derecha del cuadro de diálogo «Propiedades de la simulación» se verá como en la **ilustración 31**.
- *Construcción*: siguiendo el mismo procedimiento que en las variables anteriores, se aplica el supuesto de la distribución PERT del ejercicio, para un mínimo de 1.400.000 pesos y un máximo de

¹⁰ A diferencia de la opción anterior, acá no es necesario que los datos estén en una sola columna.

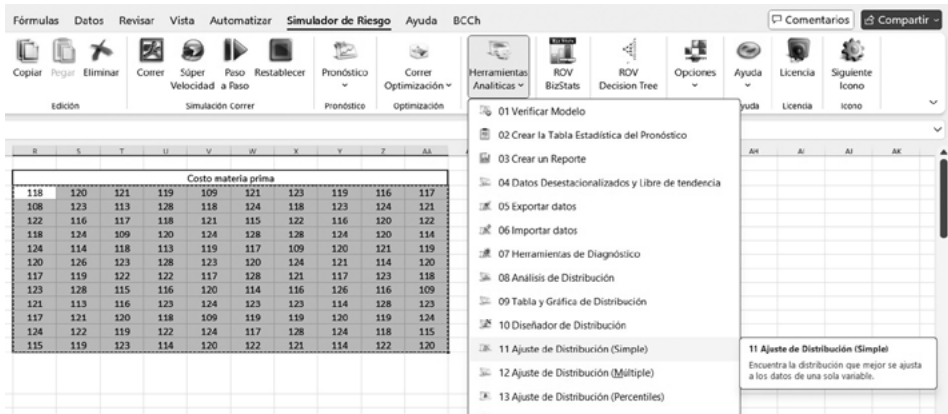


Ilustración 28. Ajuste de distribución.

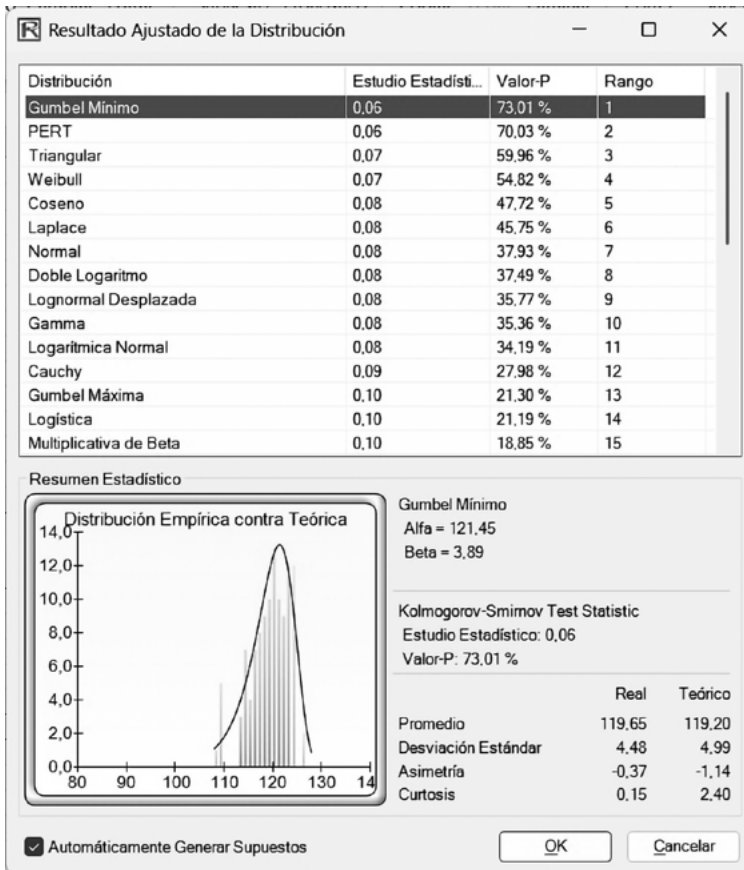


Ilustración 29. Resultados del ajuste de la distribución.

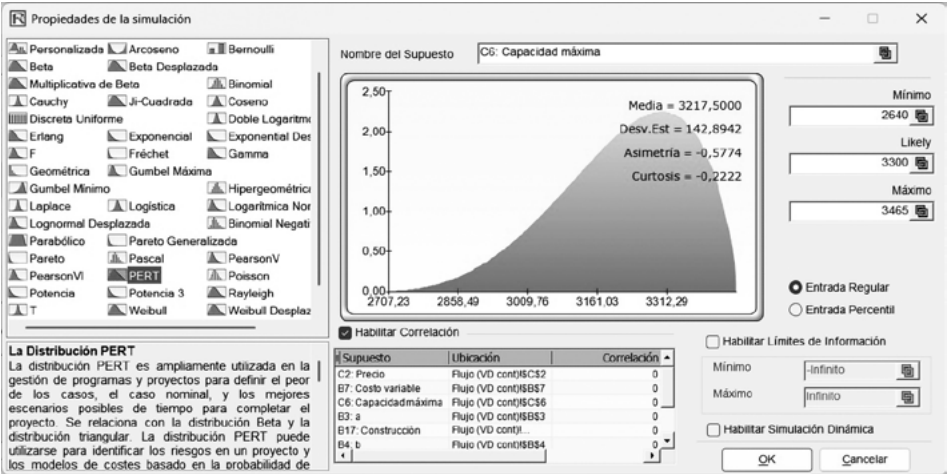


Ilustración 30. Definir supuesto para distribución de la capacidad máxima.

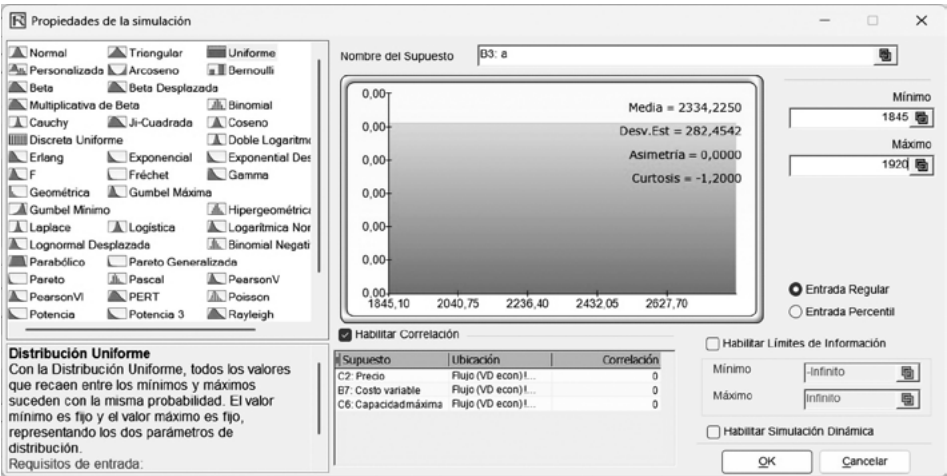


Ilustración 31. Definir supuesto para distribución del valor constante de la regresión.

- 2.000.000 de pesos, resultando una distribución de probabilidades que otorga menos variabilidad hacia una inversión más baja y mayores posibilidades hacia una más alta. La ilustración 32 muestra los parámetros ingresados y la forma de la distribución.
- *Pendiente de la función de regresión:* este caso ilustra cómo excluir valores que, aunque probabilísticamente posibles, no son

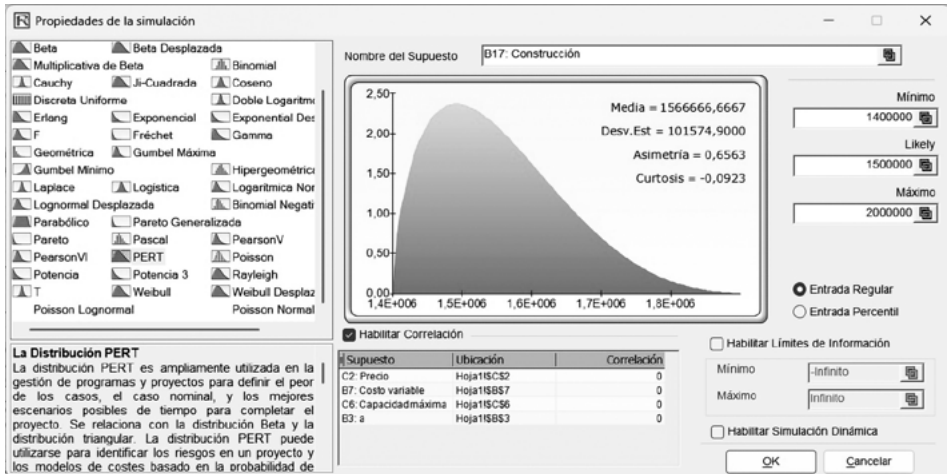


Ilustración 32. Definir supuesto para distribución del valor de la construcción.

factibles. Se mantiene el supuesto de que la distribución normal es la que más se ajusta al comportamiento de esta variable, con una desviación estándar del 10 % de la media. Además, se establece que el proyecto no puede enfrentar una tasa de crecimiento superior a una pendiente de 0,3083 (un 3 % mayor que lo esperado).¹¹

- En «Propiedades de la Simulación» se activa «Habilitar Límites de información» y se estipulan límites de cero como mínimo y 0,3083 como máximo, como se muestra en la **ilustración 33**.
- *Costo fijo*: se elige la distribución «Logarítmica Normal» porque el costo no puede ser negativo y presenta un comportamiento asimétrico positivo, como se muestra en la **ilustración 34**.
- *Precio máquina principal*: usando el mismo procedimiento de los casos anteriores, se elige la distribución uniforme y se ano-

¹¹ Excluir valores posibles es muy común cuando la demanda puede ser superior a la capacidad de producción. Por ejemplo, podría haber miles de interesados en asistir a la final de un campeonato de fútbol, pero no se podrá vender más entradas que la capacidad del estadio.

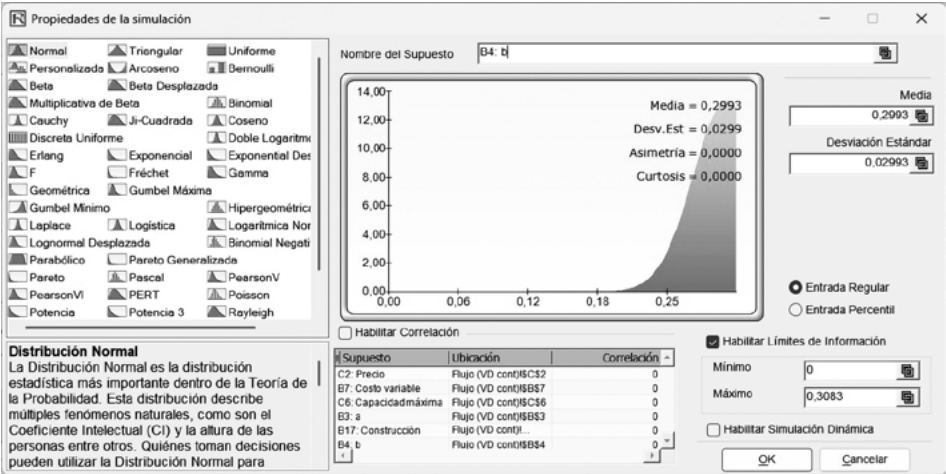


Ilustración 33. Definir supuesto para distribución del valor de la pendiente de la regresión.

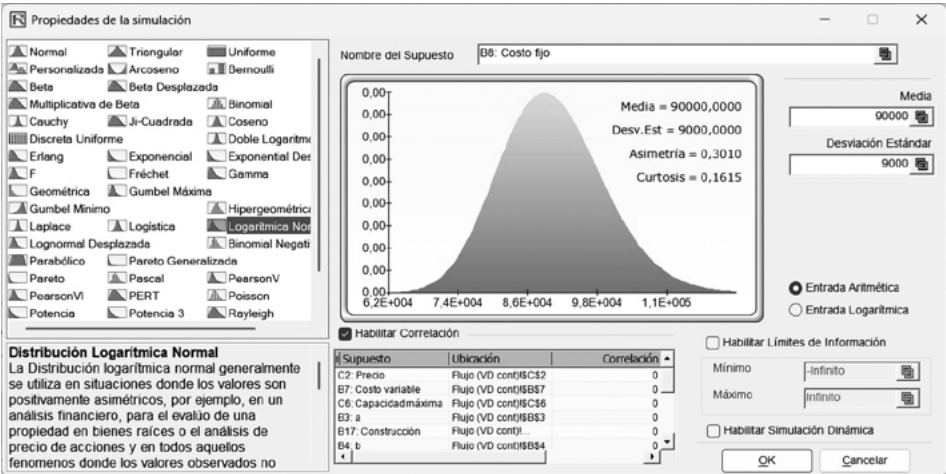


Ilustración 34. Definir supuesto para distribución del costo fijo.

tan los límites definidos en los supuestos del ejercicio, como se muestra en la **ilustración 35**.

El resto de las variables, debido a su bajo impacto, pueden ser omitidas de la simulación o se les puede asignar una distribución normal. En este caso se optará por omitirlas.

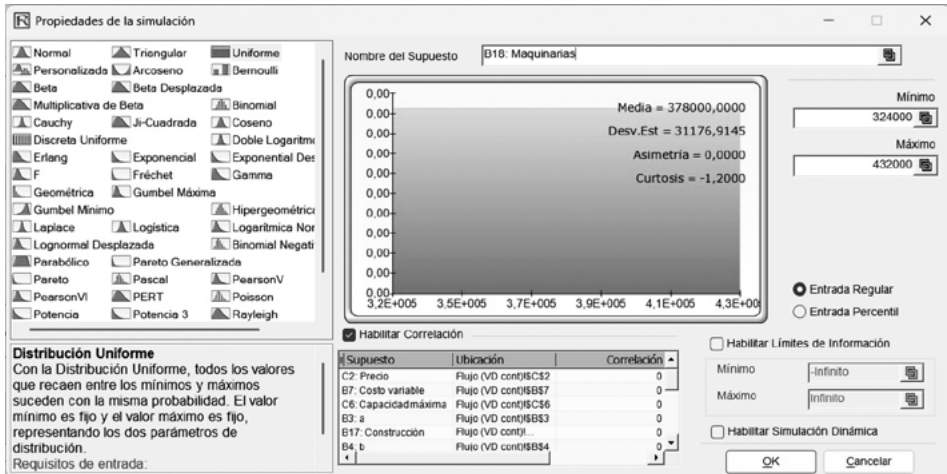


Ilustración 35. Definir supuesto para distribución del precio de la máquina principal.

SELECCIÓN DE LA VARIABLE PRONÓSTICO DE SALIDA

Aunque el *software* Risk Simulator permite realizar múltiples pronósticos simultáneamente basados en los resultados de cada escenario simulado, en este ejemplo se centrará únicamente en el pronóstico del VAN para simplificar la explicación.

Primero, seleccione la celda que contiene el resultado del VAN (B51) y haga clic en la barra de herramientas «Pronóstico de salida». Esto abrirá el cuadro de diálogo «Propiedades de pronóstico». Aquí se puede ingresar el nombre a la variable a pronosticar. El *software* propone automáticamente un nombre basado en el texto a la izquierda de la celda seleccionada.

En el cuadro de diálogo «Propiedades de Pronóstico», está la opción de ingresar el nivel de confianza y el margen de error deseados respecto a la media del pronóstico. En caso de dejar las casillas en blanco, Risk Simulator asumirá por defecto un 95 % de confianza. Para el ejemplo, se especifica un 95 % de confianza y un 5 % de margen de error, como se muestra en la **ilustración 36**.

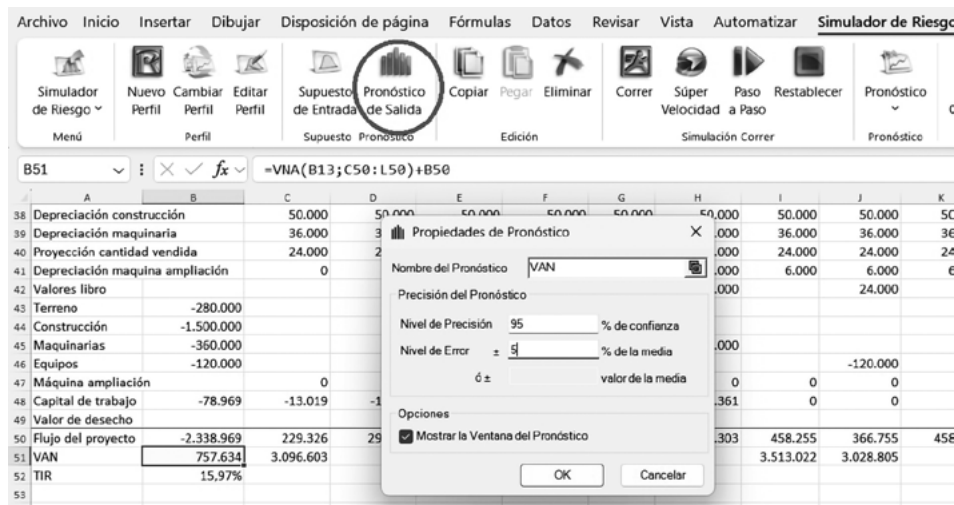


Ilustración 36. Propiedades de pronóstico.

Al indicar que se está dispuesto a tolerar un error de precisión del 5 % con respecto a la media, el *software* automáticamente sugerirá duplicar ese tamaño de escenarios en el caso de que no se cumpla ese umbral con el número de escenarios propuestos en la creación inicial del perfil.

Al hacer clic en «OK», se cerrará el cuadro de diálogo y la celda se marcará automáticamente con un color amarillo.

EJECUCIÓN DE LA SIMULACIÓN

Una vez que se han definido las distribuciones de probabilidades para todas las variables de entrada y las propiedades de pronóstico para la variable de salida, se puede ejecutar la simulación para evaluar cómo las variaciones en las variables de entrada afectan al cálculo del valor actual neto.

Para iniciar la simulación, seleccione el menú «Simulación Correr». Al marcar «Correr», se podrá observar el progreso de los resultados en un histograma, así como la variación de los valores que

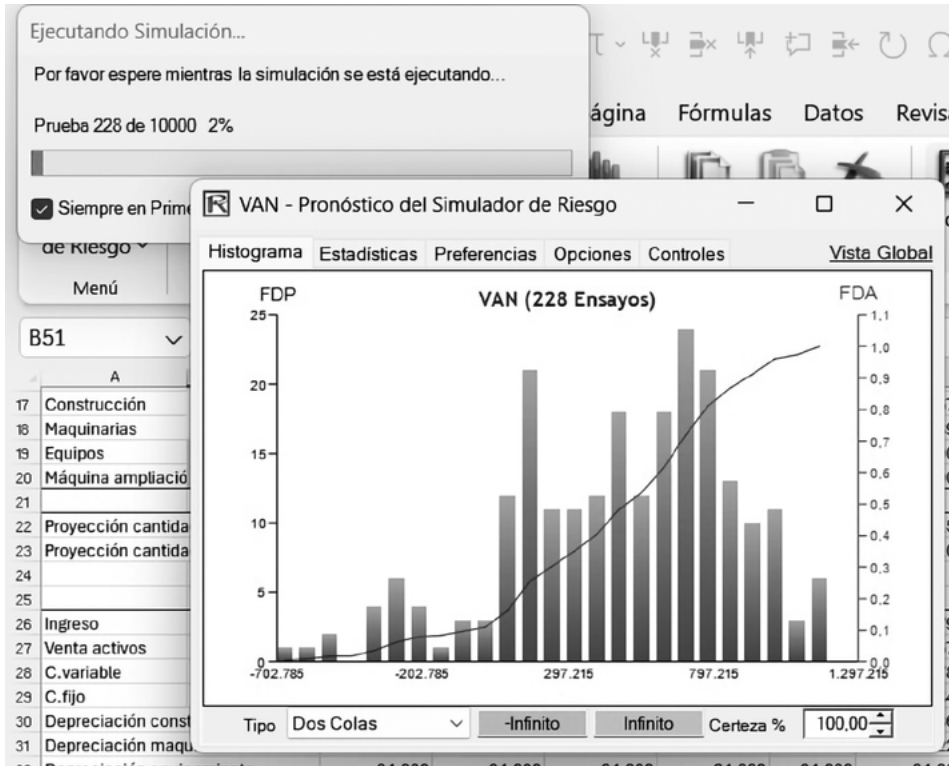


Ilustración 37. Ejecutando simulación.

asumen las variables en tiempo real, como se muestra en la **ilustración 37** con las primeras 228 iteraciones.

Finalizada la simulación, el cuadro de diálogo muestra los resultados de la simulación en varias pestañas, incluyendo:

Histograma:

Este gráfico presenta los diez mil resultados calculados del valor actual neto. Las barras verticales indican la frecuencia de cada resultado mientras que la línea en forma de «s» representa la frecuencia relativa. Como se observa en la **ilustración 38**, los datos siguen una forma similar a la de una distribución normal. En la parte inferior del

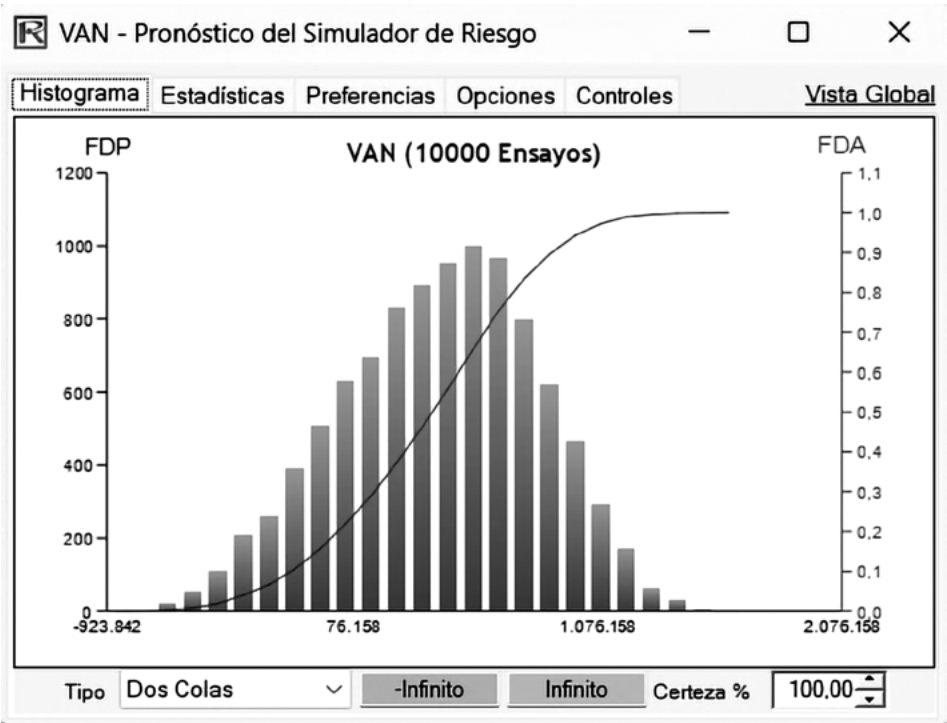


Ilustración 38. Resultado de la simulación.

cuadro de diálogo, en la sección «Tipo», la opción «Dos colas» está seleccionada por defecto.

Esta configuración incluye los diez mil resultados en un rango que abarca desde menos infinito hasta más infinito, lo que proporciona una certeza del 100 % de que el VAN se encuentra dentro de ese rango. El cuadro de diálogo «Pronóstico del Simulador de Riesgo» permite calcular la probabilidad de que el VAN se encuentre por encima o por debajo de cierto nivel, o dentro de un intervalo de confianza.

Para estimar la proporción de resultados que se encuentra por debajo del límite cero, se despliega la opción «Tipo» y se elige «Cola izquierda<». La celda «-Infinito» quedará bloqueada. Se registra el cero en la casilla que dice «+Infinito» y, al presionar «Enter», aparecerá en la casilla «Certeza %» un valor del 18,87 %, indicando que

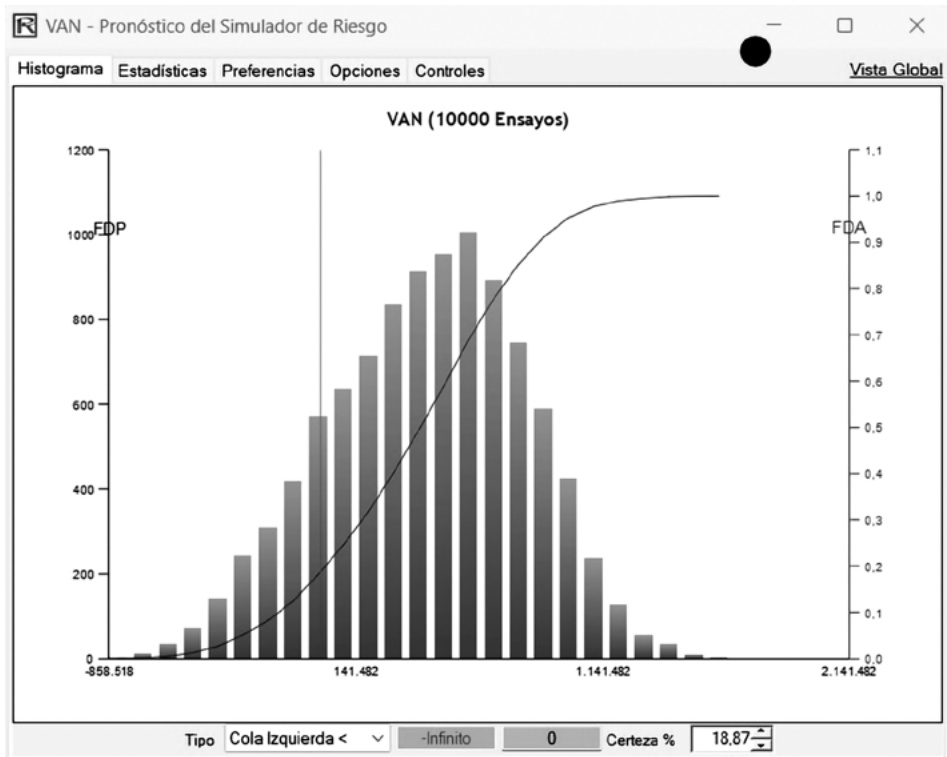


Ilustración 39. Probabilidad VAN negativo.

ese es el porcentaje de veces que la simulación resultó en un VAN negativo. En la gráfica de distribución, se mostrará con una línea vertical el punto en el que el valor del VAN es negativo. La **ilustración 39** muestra este punto con claridad.

Por otra parte, para estimar los límites del rango de resultados que se encuentren en un intervalo, en la casilla «Tipo» se elige «Dos colas» y se indica el intervalo de confianza deseado. Por ejemplo, si es del 90 %, se anota el número 90 en la casilla «Certeza %». Al marcar TAB, aparecerán los valores correspondientes en reemplazo de $-\infty$ y $+\infty$. Dicho de otra forma, existe un 5 % de probabilidad de que el VAN sea inferior a -321.394 pesos y un 5 % de que esté por sobre los 995.189 pesos. La **ilustración 40** muestra lo anterior.

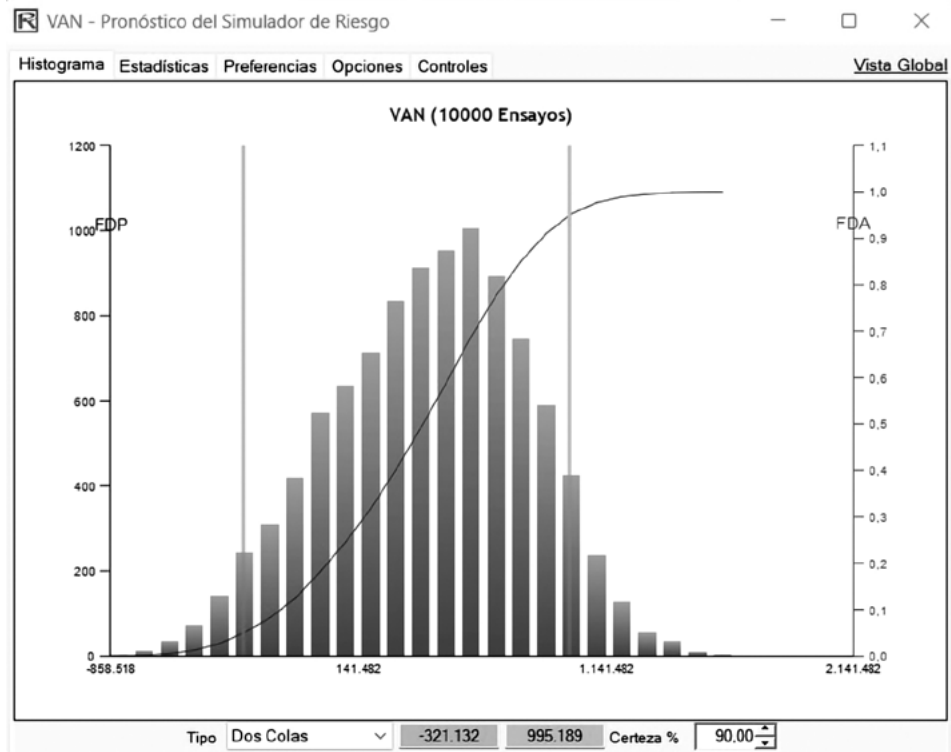
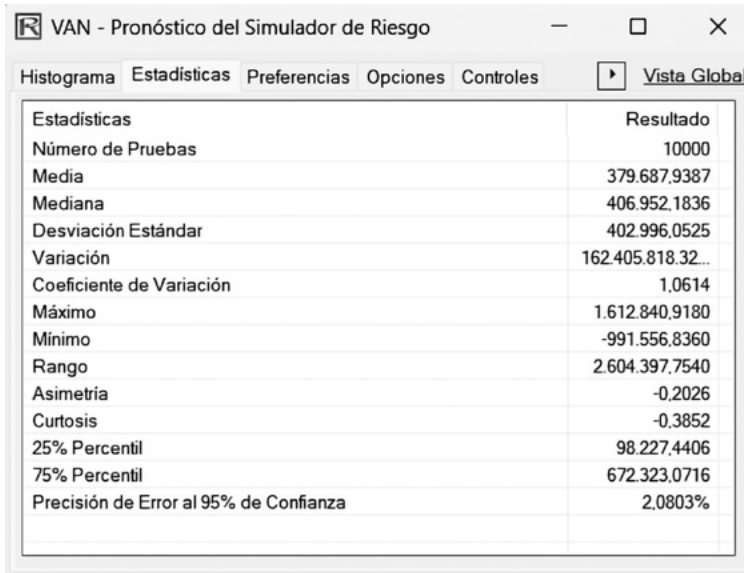


Ilustración 40. Probabilidad en función del intervalo.

Estadísticas

Las estadísticas de la simulación del VAN en la segunda pestaña del cuadro de diálogo proporcionan importante información que agrega una nueva visión al análisis simple del escenario obtenido previo a la simulación. Las principales estadísticas proporcionadas se muestran en la **ilustración 41**.

- **Media:** la media de los resultados es de 379.688 pesos, cifra significativamente inferior al valor esperado del VAN de 757.634 pesos.
- **Mediana:** la mediana de los resultados es de 406.952 pesos y superior a la media, lo que sugiere que la probabilidad del VAN está levemente sesgada hacia valores más bajos.



Estadísticas	Resultado
Número de Pruebas	10000
Media	379.687.9387
Mediana	406.952.1836
Desviación Estándar	402.996.0525
Variación	162.405.818.32...
Coefficiente de Variación	1.0614
Máximo	1.612.840.9180
Mínimo	-991.556.8360
Rango	2.604.397.7540
Asimetría	-0.2026
Curtosis	-0.3852
25% Percentil	98.227.4406
75% Percentil	672.323.0716
Precisión de Error al 95% de Confianza	2.0803%

Ilustración 41. Estadísticas de la simulación.

- *Desviación estándar:* la desviación estándar es de 402.996 pesos, lo que indica una variabilidad significativa en los resultados de la simulación, reflejando una alta incertidumbre en los valores obtenidos.
- *Coefficiente de variación:* el coeficiente de variación de 1,0614 muestra que los valores obtenidos en la simulación varían mucho en relación con el promedio, lo que confirma una mayor incertidumbre.
- *Asimetría:* la simetría de $-0,2026$ indica que la distribución de los resultados tiene una leve inclinación hacia la izquierda, confirmando que habría una pequeña tendencia a obtener valores más bajos en comparación con la media.
- *Curtosis:* la curtosis de $-0,3852$ indica que la distribución de las probabilidades del VAN tiene colas menos extremas que en una distribución normal. Es decir, que hay menos posibilidades de encontrar valores extremadamente altos o bajos.

- *Precisión de error al 95 % de confianza:* la precisión de error de 2,0803 % indica que el margen de error para la media de los resultados es pequeño, lo que permite afirmar que la estimación de la media es estable y confiable.

Lo anterior permite concluir que la simulación muestra una media y mediana significativamente inferiores al VAN esperado, con una alta variabilidad y una leve inclinación hacia valores bajos, lo que significa que existe un alto riesgo de que el proyecto obtenga un VAN por debajo de lo esperado.

La función «Crear Reporte» en Risk Simulator permite generar un documento que resume en forma detallada los supuestos asignados a las variables de entrada y los resultados obtenidos de la simulación. En el menú «Herramientas Analíticas» se selecciona «03 Crear reporte», como se muestra en la **ilustración 42**. Esto generará automáticamente el informe que se muestra en la **ilustración 43**.

CONSIDERACIONES FINALES

En este capítulo, se ha profundizado en la aplicación de la simulación Monte Carlo mediante Risk Simulator para la evaluación de un proyecto de inversión. Se ha detallado el proceso de selección y configuración de las distribuciones de probabilidad para las variables de entrada y la definición de las propiedades de la variable de salida, explicando cómo esta herramienta facilita la evaluación del impacto de las variaciones en las variables de entrada sobre el valor actual neto.

La capacidad de interpretar y analizar los resultados de la simulación será fundamental para determinar las variables que más influyen en la rentabilidad del proyecto y realizar los distintos análisis de sensibilidad. Esto proporcionará más y mejor información a quienes deben tomar decisiones, tal como se discutirá en el capítulo 4.



Ilustración 42. Crear Reporte.

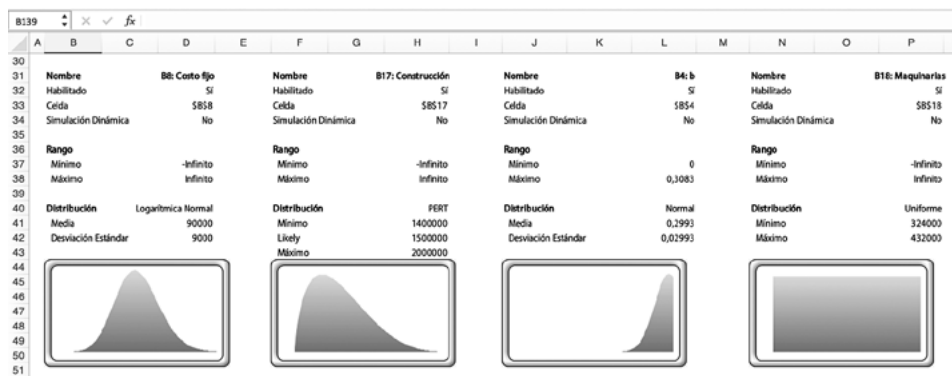


Ilustración 43. Reporte de simulación.

CAPÍTULO 4

Análisis de sensibilidad y escenarios basados en resultados de la simulación

Objetivos de aprendizaje

1. Aprender a utilizar los resultados de la simulación Monte Carlo para identificar variables críticas.
2. Aplicar el análisis de sensibilidad para encontrar puntos críticos.
3. Conocer cómo desarrollar análisis de escenarios y su impacto en el VAN.
4. Interpretar los resultados de los análisis de sensibilidad y escenarios.

Análisis de sensibilidad y escenarios basados en resultados de la simulación

En este capítulo se profundiza en cómo utilizar los resultados obtenidos de la simulación Monte Carlo para analizar la sensibilidad y los escenarios, y medir el impacto de los cambios en el valor de las variables sobre el resultado del Valor Actual Neto. Esto permite comprender mejor los factores que afectan la rentabilidad del proyecto y medir su magnitud, lo que proporciona al inversionista información adicional para tomar decisiones bajo condiciones de riesgo y ajustar su estrategia según su tolerancia.

Primero, se explicará cómo generar las correlaciones entre cada variable de entrada y la variable de salida utilizando Risk Simulator, basado en diez mil escenarios medidos y su peso relativo. A las variables más críticas se les realizará un análisis de sensibilidad, o punto crítico, para determinar la máxima variabilidad u holgura del proyecto ante escenarios negativos.

Luego, se presentará el análisis de escenarios para conocer el comportamiento del proyecto bajo diferentes condiciones de mercado. Este análisis complementa al de sensibilidad al considerar combinaciones de variables y sus interacciones, ofreciendo una perspectiva más detallada y adaptada a los diferentes niveles de aversión al riesgo de los involucrados.

ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD

El análisis de sensibilidad busca determinar la máxima variabilidad del valor de las variables de entrada más relevantes para la rentabilidad del proyecto. Primero, se debe identificar las variables más correlacionadas con el valor actual neto y, luego, encontrar su valor límite, es decir, el valor que hace que el VAN sea igual a cero.

Risk Simulator dispone de la función «Análisis de sensibilidad» en el menú «Herramientas Analíticas», que se muestra en la **ilustración 44**. Esta función proporciona la correlación entre cada variable de entrada y el VAN, utilizando los datos generados por la simulación Monte Carlo, y aparecerá habilitada cuando esta se haya ejecutado.

Al hacer clic en «25 Análisis de Sensibilidad» se despliega el cuadro de diálogo «Análisis de Sensibilidad», que muestra todas las opciones de variables de salida que se hayan definido para la simulación (en este caso, solo VAN), como se muestra en la **ilustración 45**. Para facilitar la identificación de las variables, se elige «Celda Nombre (12 Cartas)» en «Trace Etiqueta» y se hace clic en «Excel» para generar dos opciones gráficas.

Las dos opciones gráficas se agregan en dos hojas nuevas: «Sensitivity» y «Sensibilidad». Al abrir la primera, se encontrará la información que se muestra en la **ilustración 46**.

En la tabla a la izquierda de la hoja se observan, ordenadas de mayor a menor, las correlaciones entre cada variable de entrada y el VAN. La columna «% Variación» muestra la relación entre la correlación de cada variable respecto de la suma de las correlaciones absolutas de todas las variables de entrada. Para limitar el análisis a las variables más relevantes, en la casilla «Muestre las principales variables» se anotó el número 8. La columna «Variación porcentual ajustada» muestra la relación de cada una sobre la suma de las ocho seleccionadas.

Esto permite estimar que aproximadamente el 50,7 % de los cambios en la rentabilidad fueron ocasionados por el cambio en el valor

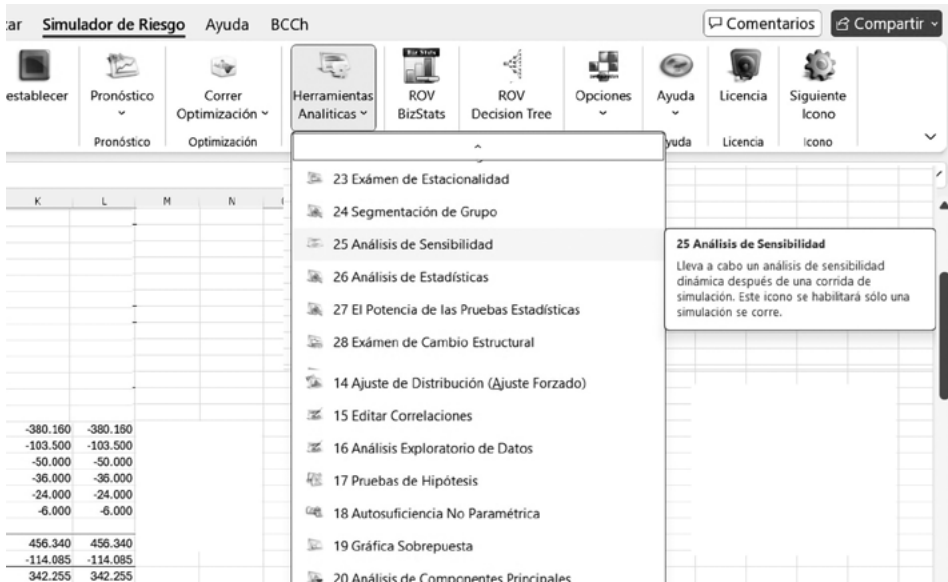


Ilustración 44. Análisis de sensibilidad en Risk Simulator.

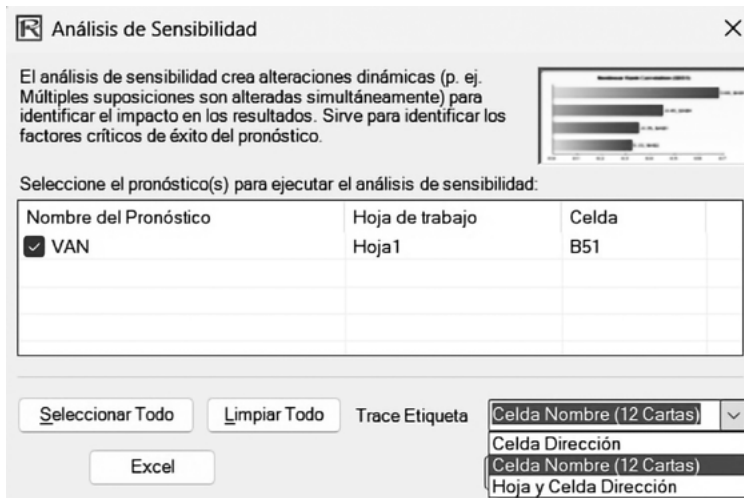


Ilustración 45. Análisis de sensibilidad.

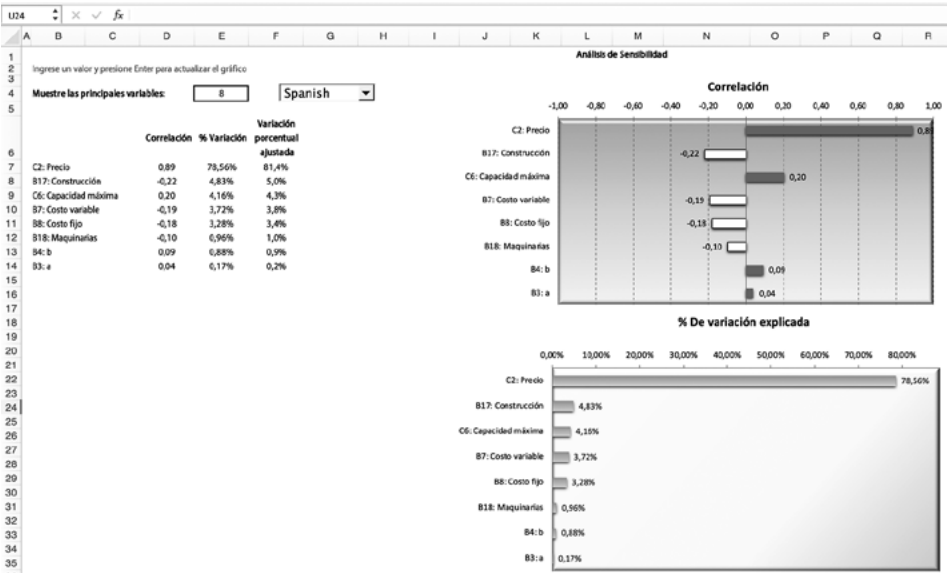


Ilustración 46. Resultados del análisis de sensibilidad.

asumido aleatoriamente por el precio y que el 15,68 % de los cambios se debieron a las variaciones en el valor total de la inversión en construcción. En conjunto, dos variables explican prácticamente el 66 % de los cambios observados en el comportamiento del VAN.

La diferencia entre la jerarquización de variables proporcionadas por los análisis de tornado y de sensibilidad se debe a que el primero solo consideró el rango de variación del VAN ante una variación de ± 10 % en cada variable, manteniendo las demás constantes, es decir, en su escenario base, mientras que el segundo considera los miles de posibles valores que puede asumir cada variable de entrada y los compara con el impacto sobre el valor que asume la variable de salida.

Una vez identificadas estadísticamente las variables más críticas, se procede a determinar la variación máxima, de manera independiente, que puede soportar el proyecto para que la inversión siga siendo rentable:

Sensibilización del precio

La sensibilización del precio busca determinar el precio de equilibrio, es decir, el precio mínimo que permita cubrir todos los costos, recuperar la inversión y obtener la rentabilidad exigida reflejada en el costo del capital.

Cuando el flujo de caja está modelado según las directrices explicadas, el precio de equilibrio se obtiene fácilmente en Excel mediante los siguientes pasos:

- Abra la pestaña «Datos» y seleccione el menú «Análisis de hipótesis».
- Seleccione la opción «Buscar objetivo» y complete el cuadro de diálogo marcando en «Definir la celda» aquella donde está el VAN (B51). En «Con el valor» escriba el número 0 (valor mínimo del VAN para que sea aceptado) y en «Cambiando la celda» aquella donde está el precio (C2).

Al hacer clic en «Aceptar», aparecerá el valor de 281 pesos en la celda del precio y 0 pesos en la celda del VAN. Esto indica que la variable más crítica tiene una holgura de un 12,2 %, información que deberá conocer el inversionista para tomar la decisión de invertir o no en el proyecto.

Sensibilización de la inversión en construcción

Para sensibilizar la segunda variable se debe volver al escenario original y repetir el procedimiento, pero esta vez colocando la celda donde está el monto de la inversión (B17) en «Cambiando la celda». Al marcar «Aceptar», el valor aumentará a poco más de 2.300.000 pesos, lo que equivale a una holgura de un 53 %.

ANÁLISIS DE ESCENARIOS

El análisis de escenarios es un modelo alternativo para evaluar el impacto del cambio en los valores de las variables de entrada sobre

la rentabilidad del proyecto. Este enfoque mide la variación del VAN cuando se modifican los valores de una o más variables.

Las principales desventajas del modelo son que la definición de los posibles valores asignados a cada variable queda a criterio del evaluador y que la cantidad de escenarios generados puede desviar la atención del punto crítico. Generalmente, este modelo muestra dos escenarios adicionales al original: uno optimista y otro pesimista, para mostrar «qué pasa si...».

La ventaja es que permite modificar más de una variable a la vez.

Muchos evaluadores utilizan el principio de Pareto, o regla del 80/20, para analizar escenarios. Este principio sostiene que el 80 % de los efectos provienen del 20 % de las causas. Aplicado al análisis de riesgos, se asume que el 20 % de las variables de entrada explican el 80 % de la variación de la variable de salida.

Cuando dos variables concentran una parte importante de las causas del cambio en el VAN, se puede construir una tabla de datos con los resultados de combinar cambios simultáneos en ambas variables. Para esto, se siguen los siguientes pasos:

- Construya una matriz con distintos valores para el precio en la fila 54, a partir de la columna b, y para la inversión en la primera columna a partir de la fila 55. En ambos casos, inicie con los valores originales del precio y la inversión sin vincularlos a las celdas de origen. En este ejemplo, el valor del precio se modificó en intervalos de 10 pesos y el de la inversión en intervalos de 100.000 pesos variándolos arbitrariamente hasta su punto crítico determinado en el análisis de sensibilidad (280 pesos para el precio y 2.300.000 pesos para la inversión).
- En la celda A54 escriba =B51.
- Seleccione toda la tabla de datos (A54:K61).
- En la pestaña «Datos» de Excel, seleccione «Análisis de Hipótesis» y haga clic en «Tabla de datos».

AT135												
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
50	Flujo del proyecto	-2.338.969	229.326	295.098	338.509	230.506	414.492	200.303	458.255	366.755	458.255	3.971.277
51	VAN	757.634	3.096.603						3.513.022	3.028.805		
52	TIR	15,97%										
53												
54		757.634	350	340	330	320	310	300	290	280	270	260
55	1.400.000											
56	1.500.000											
57	1.600.000											
58	1.700.000											
59	1.800.000											
60	1.900.000											
61	2.000.000											

Ilustración 47. Tabla de datos.

AR134												
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
50	Flujo del proyecto	-2.338.969	229.326	295.098	338.509	230.506	414.492	200.303	458.255	366.755	458.255	3.971.277
51	VAN	757.634	3.096.603						3.513.022	3.028.805		
52	TIR	15,97%										
53												
54		757.634	350	340	330	320	310	300	290	280	270	260
55	1.400.000	1.440.178	1.244.018	1.047.858	851.698	655.538	459.378	263.218	67.059	-129.101	-325.261	
56	1.500.000	1.346.114	1.149.954	953.794	757.634	561.474	365.314	169.154	-27.006	-223.166	-419.326	
57	1.600.000	1.252.049	1.055.889	859.729	663.570	467.410	271.250	75.090	-121.070	-317.230	-513.390	
58	1.700.000	1.157.985	961.825	765.665	569.505	373.345	177.185	-18.975	-215.134	-411.294	-607.454	
59	1.800.000	1.063.921	867.761	671.601	475.441	279.281	83.121	-113.039	-309.199	-505.359	-701.519	
60	1.900.000	969.856	773.696	577.536	381.377	185.217	-10.943	-207.103	-403.263	-599.423	-795.583	
61	2.000.000	875.792	679.632	483.472	287.312	91.152	-105.008	-301.168	-497.327	-693.487	-889.647	

Ilustración 48. Resultados del VAN con cambios en los valores de dos variables.

- En el cuadro de diálogo «Tabla de datos» escriba en «Celda de entrada (fila)» la celda donde está el precio (C2) y en «Celda de entrada (columna)» la que contiene la inversión (B17), tal como se muestra en la **ilustración 47**.

Al marcar «Aceptar» la tabla se completa con los valores que asumiría el VAN en cada combinación de precio e inversión, como se muestra en la **ilustración 48**.

CONSIDERACIONES FINALES

En este capítulo se exploró cómo utilizar los resultados de la simulación Monte Carlo para realizar análisis de sensibilidad y escenarios.

Primero, se explicó cómo identificar las variables más críticas que afectan la rentabilidad del proyecto y cómo determinar su variabilidad máxima para que siga siendo viable. Luego, se introdujo el análisis de escenarios, que permite evaluar el comportamiento del proyecto bajo diferentes condiciones de mercado. La integración de estos análisis en la evaluación de proyectos proporciona una comprensión más profunda de los posibles riesgos, ofreciendo información útil independientemente del grado de aversión al riesgo de los decisores.

CAPÍTULO 5

Análisis de indiferencia

Objetivos de aprendizaje

1. Comprender el concepto de análisis de indiferencia.
2. Aplicar el análisis de sensibilidad para evaluar alternativas en diferentes escenarios.
3. Aprender a utilizar los flujos relevantes para simplificar la comparación entre opciones.
4. Comprender y explicar el concepto de Valor Actual de Costos.
5. Calcular el punto indiferencia entre dos alternativas de inversión.

Análisis de indiferencia

En el capítulo cuarto se utilizó el análisis de sensibilidad para comprender mejor el comportamiento del proyecto, determinando hasta qué punto puede resistir modificaciones en una o más variables independientes y seguir siendo viable económicamente.

En este capítulo se complementará dicho análisis aplicando la sensibilización a una situación común: cuando una opción de inversión puede ser preferida sobre otra solo bajo ciertas condiciones.

En estos casos, el análisis de indiferencia proporciona una comprensión más profunda de cómo las variaciones en las condiciones del mercado y otros parámetros del proyecto pueden influir en la preferencia de una opción de inversión sobre otra.

El análisis de indiferencia se enfoca en identificar el punto a partir del cual la opción elegida deja de ser la más conveniente. Este enfoque permite a los evaluadores y a los inversionistas identificar claramente las condiciones bajo las cuales cada opción de inversión se vuelve preferible, proporcionando información relevante para comparar alternativas en un contexto dinámico.

FLUJOS RELEVANTES

Cuando se comparan opciones, se puede recurrir al concepto de flujo relevante para trabajar solo con las variables que son diferentes

entre las opciones en análisis. Por ejemplo, si se debe optar por una de dos tecnologías que prestan el mismo servicio, los flujos relevantes no requieren proyectar ingresos.

En este caso, al compararse solo por costos, el VAN será siempre negativo, por lo que se le denomina «valor actual de costos» (VAC) para explicitar que se excluyeron algunos ingresos o beneficios y, por tanto, ya no se debe rechazar si es negativo.

Los flujos relevantes basados en costos también tendrán una utilidad negativa. Esto no debe interpretarse como una pérdida, sino como una estimación de cuánto disminuiría la utilidad total de la empresa si se elige una u otra opción. Por lo tanto, el impuesto se registra con signo positivo para reflejar cuánto contribuye cada alternativa a rebajar impuestos.

En la **ilustración 49** se demuestra que la conclusión de que la opción b es mejor que la opción a, se logra incluyendo toda la información como excluyendo la que es irrelevante o común para ambas. En la tabla «Flujo total» se muestra que el flujo final de b es 80 pesos más alto que el de a, y en la tabla «Flujo relevante», que es 80 pesos más barato que a. La ventaja del flujo relevante es que permite llegar a la misma conclusión con menos información.

Tanto en la tabla «Flujo total» como en la de «Flujo relevante» la diferencia es la misma en favor de la opción b. Mientras el primero muestra que genera un mayor flujo de ingresos de 80 pesos, la segunda concluye que gasta 80 pesos menos que a.

CÁLCULO DEL PUNTO DE INDIFERENCIA

Para explicar el análisis de sensibilidad aplicado a la determinación de punto de indiferencia se recurrirá a un ejemplo simplificado.

Suponga que existen dos opciones para eliminar mil toneladas anuales de residuos, las cuales serán evaluadas en un horizonte de cinco años.

I19							
	A	B	C	D	E	F	G
1		Flujo total				Flujo relevante	
2		Opción A	Opción B			Opción A	Opción B
3	Ingresos	1.000	1.000		Ingresos		
4	Egresos	-600	-500		Egresos	-600	-500
5	Depreciación	-100	-120		Depreciación	-100	-120
6	Utilidad	300	380		Utilidad	-700	-620
7	Impuesto	-75	-95		Impuesto	175	155
8	Utilidad neta	225	285		Utilidad neta	-525	-465
9	Depreciación	100	120		Depreciación	100	120
10	Flujo	325	405		Flujo	-425	-345
11							
12	Diferencia	80			Diferencia	80	

Ilustración 49. Flujo total vs. flujo relevante.

Opción A

- *Inversión total:* 80.000 pesos.
- *Años para depreciar:* 10.
- *Valor residual al quinto año:* 32.000 pesos.
- *Costo fijo anual:* 8.000 pesos.
- *Costo variable por tonelada eliminada:* 30 pesos.

Opción B

- *Inversión total:* 100.000 pesos.
- *Años para depreciar:* 10.
- *Valor residual al quinto año:* 40.000 pesos.
- *Costo fijo anual:* 9.000 pesos.
- *Costo variable por tonelada eliminada:* 23 pesos.

Dado que ambas opciones generan el mismo resultado, se debe seleccionar aquella que lo haga con un menor costo. Para ello, se proyectarán los flujos de caja relevantes, modelándolos en función de las variables de entrada que se muestran en la **ilustración 50**.

E73			
	A	B	C
1	Proyección unidades	1000	
2	Opciones	A	B
3	Inversión	80.000	100.000
4	Costo fijo	8.000	9.000
5	Costo variable unitario	30	23
6	Años para depreciar	10	
7	Tasa costo de capital		
8	Impuesto a las utilidades	25%	

Ilustración 50. Variables de entrada de opciones tecnológicas.

Con esta información, se construyen los dos flujos de caja y se calcula el VAC¹² de ambas opciones para determinar cuál es económicamente más ventajosa. Como se muestra en la **ilustración 51**, la opción a tiene un VAC de -160.586 pesos, mientras que la opción b tiene un VAC de solo -156.665 pesos, lo que significa que esta es 3.921 pesos más barata en términos actuales.

Alternativamente, se puede construir un flujo incremental entre ambas opciones, insertando solo la cuantía de la variación de cada cuenta si se eligiera una (retador) por sobre la otra (incumbente o defensor). Por ejemplo, si se elige la opción b, el costo fijo es 1.000 pesos más alto, el costo variable es 7.000 pesos más bajo y la inversión es 20.000 pesos mayor.

El resultado del flujo incremental se evalúa con el valor actual neto. Si el VAN es positivo, significa que el retador b es mejor que el incumbente a. Si el VAN es cero, ambas opciones tienen el mismo costo, y si es negativo, la opción a es mejor que la opción b. El VAN incremental siempre será igual a la diferencia entre el VAC del retador y el VAC del incumbente.

12 La fórmula del valor actual de costos (VAC) es la misma que la del valor actual neto (VAN). Solo cambia el nombre para indicar si están considerados o no todos los ingresos y beneficios.

CM114							
	A	B	C	D	E	F	G
9							
10	Opción A	0	1	2	3	4	5
11	Costo fijo		-8.000	-8.000	-8.000	-8.000	-8.000
12	Costo variable		-30.000	-30.000	-30.000	-30.000	-30.000
13	Depreciación		-8.000	-8.000	-8.000	-8.000	-8.000
14	Utilidad		-46.000	-46.000	-46.000	-46.000	-46.000
15	Impuesto		11.500	11.500	11.500	11.500	11.500
16	Utilidad neta		-34.500	-34.500	-34.500	-34.500	-34.500
17	Depreciación		8.000	8.000	8.000	8.000	8.000
18	Inversión	-80.000					
19	Valor residual						32.000
20	Flujo	-80.000	-26.500	-26.500	-26.500	-26.500	5.500
21	VAC opción A	-160.586					
22							
23	Opción B	0	1	2	3	4	5
24	Costo fijo		-9.000	-9.000	-9.000	-9.000	-9.000
25	Costo variable		-23.000	-23.000	-23.000	-23.000	-23.000
26	Depreciación		-10.000	-10.000	-10.000	-10.000	-10.000
27	Utilidad		-42.000	-42.000	-42.000	-42.000	-42.000
28	Impuesto		10.500	10.500	10.500	10.500	10.500
29	Utilidad neta		-31.500	-31.500	-31.500	-31.500	-31.500
30	Depreciación		10.000	10.000	10.000	10.000	10.000
31	Inversión	-100.000					
32	Valor residual						40.000
33	Flujo	-100.000	-21.500	-21.500	-21.500	-21.500	18.500
34	VAC Opción B	-156.665					
35							
36	VAC diferencial	3.921					
37							

Ilustración 51. Flujos de costos y VAC de las alternativas tecnológicas.

La **ilustración 52** muestra el flujo incremental y el resultado del VAN que, como se observa, es igual al VAC diferencial de la **ilustración 51**.

Aunque el monto de la inversión y el costo fijo son mayores en la opción b, su menor costo variable unitario la hace más atractiva económicamente. Sin embargo, existe el riesgo de que, si disminuye la cantidad de residuos que se deberá eliminar, tanto la inversión inicial como el costo fijo deberán distribuirse entre un menor número de unidades, aumentando así el costo por tonelada eliminada.

La **ilustración 53**, elaborada con la función «Tabla de datos» del menú «Herramientas de datos» de Excel, muestra cómo al disminuir

BC90							
	A	B	C	D	E	F	G
37							
38	Incremental (B en vez de A)	0	1	2	3	4	5
39	Costo fijo		-1.000	-1.000	-1.000	-1.000	-1.000
40	Costo variable		7.000	7.000	7.000	7.000	7.000
41	Depreciación		-2.000	-2.000	-2.000	-2.000	-2.000
42	Utilidad		4.000	4.000	4.000	4.000	4.000
43	Impuesto		-1.000	-1.000	-1.000	-1.000	-1.000
44	Utilidad neta		3.000	3.000	3.000	3.000	3.000
45	Depreciación		2.000	2.000	2.000	2.000	2.000
46	Inversión	-20.000					
47	Valor residual						8.000
48	Flujo	-20.000	5.000	5.000	5.000	5.000	13.000
49	VAN opción B vs opción A	3.921					

Ilustración 52. Flujo y VAN incrementales.

G21				
	A	B	C	D
1	Cantidad	VAC opción A	VAC opción B	Diferencia
2		-160.586	-156.665	
3	1000	-160.586	-156.665	3.921
4	950	-156.322	-153.396	2.926
5	900	-152.057	-150.126	1.931
6	850	-147.792	-146.856	936
7	800	-143.528	-143.587	-59
8	750	-139.263	-140.317	-1.054
9	700	-134.999	-137.048	-2.049
10	650	-130.734	-133.778	-3.044
11	600	-126.469	-130.509	-4.039
12	550	-122.205	-127.239	-5.034
13	500	-117.940	-123.970	-6.030

Ilustración 53. Variación de los VAC antes de los cambios en la cantidad.

la cantidad de residuos, la diferencia entre los VAC de ambas opciones se reduce. Incluso la opción pasa a ser más ventajosa que la opción b cuando se reduce a menos de 800 unidades.

La columna «Diferencia» representa el VAN de un flujo incremental o la diferencia entre los VAC de las dos opciones. En la **ilustración 54** se observa la relación entre ambas opciones para diferentes volúmenes de actividad.

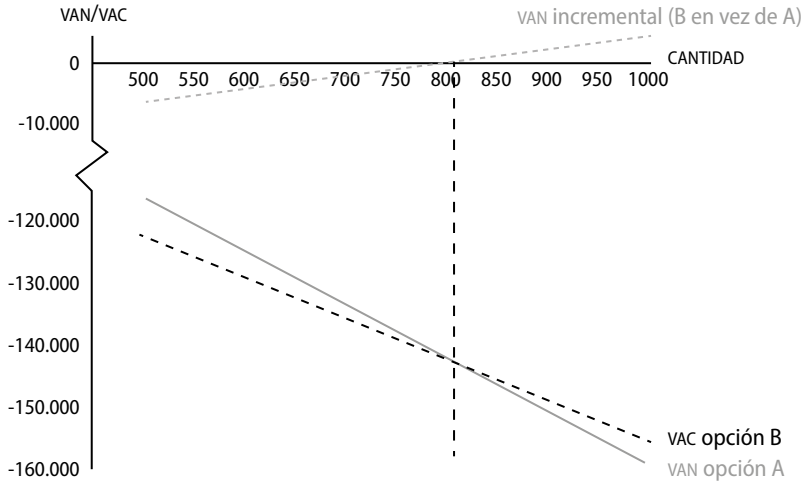


Ilustración 54. VAN incremental y VAC de a y b para distintos niveles de actividad.

Buscar objetivo

Definir la celda:

Con el valor:

Para cambiar la celda:

Ilustración 55. Uso de función «Buscar objetivo» para determinar punto de indiferencia.

En Excel el punto de indiferencia se obtiene fácilmente con la función «Buscar objetivo» del menú «Análisis de Hipótesis» en la pestaña «Datos». En el cuadro de diálogo que se muestra en la **ilustración 55** se apunta la celda que contiene el VAC diferencial (B36 o, si se construyó un flujo incremental, B49), mientras que en «Definir la celda», el numero 0 en «Con el valor» y la celda en la que está la cantidad originalmente proyectada (B1) en «Cambiando la celda». Al hacer clic en «Aceptar», la celda B1 mostrará la cantidad de 803, indicando que bajo ese nivel promedio anual de toneladas a eliminar convendría la opción a, y sobre ese nivel, la opción b.

CONSIDERACIONES FINALES

En este apéndice se ha demostrado cómo el análisis de sensibilidad puede complementarse con el análisis de indiferencia para ofrecer una perspectiva más clara sobre la alternativa más favorable desde el punto de vista económico bajo diferentes escenarios. La aplicación del concepto de flujos relevantes ha implicado la comparación entre opciones al enfocarse únicamente en las variables que varían entre ellas.

El análisis de indiferencia permite comprender cómo la decisión de elegir una opción de inversión por sobre otra puede cambiar en función de las variaciones en las condiciones que definieron el valor de las variables de entrada.

Referencias

- Anderson, E. A. M., Medina Corilloclla, D. L., Jeremías Porras, M. Y., Monteagudo Venero, R., & Deza Quispe, J. A. (2022). Monte Carlo simulation in an elementary school building. *Journal of Project Management*, 7(3), 147-154.
- Bonilla Rubiano, J. (2018). *Análisis del riesgo de inversión en un proyecto productivo de quinua orgánica certificada a partir de Simulación Monte Carlo*. [Tesis de pregrado, Universidad del Valle]. Repositorio Institucional Universidad del Valle. <https://bit.ly/4i626cX>.
- Del-Carpio, J. (2013). *Modelo de análisis de decisiones utilizando simulación Monte Carlo para mejorar la eficiencia y eficacia en proyectos de inversión pública* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Mayor de San Marcos]. Disponible en: <https://bit.ly/4hXQlpH>.
- Inquilla-Mamani, J., & Rodríguez-Limachi, O. M. (2019). Análisis de riesgo mediante el método de simulación de Monte Carlo aplicado a la inversión pública en el sector educativo peruano: El caso del departamento de Puno. *Praxis*, 15(2), 163-176. <http://dx.doi.org/10.21676/23897856.2858>.
- Machain, L. (2014). Simulación de modelos financieros. Alfaomega.
- Mun, J. (2020) Evaluación económica y financiera de proyectos. IIPER.
- . (2020) Gestión de proyectos. IIPER.
- Quirama, U., Sastoque, J. & Arboleda, C. (2022). Valoración cuantitativa de riesgos para proyectos de inversión. *Administración & Desarrollo*, 52(1), 20-34. <https://doi.org/10.22431/25005227.vol52n1.2>.

- Salgado, D. & Awad, G. (2022). Metodología para el análisis estratégico cuantitativo en proyectos a partir del análisis de riesgos. *Estudios Gerenciales*, 38(165), 424-435. <https://doi.org/10.18046/j.estger.2022.165.5198>.
- Sánchez, Z. E.(2014). Análisis de riesgos en proyectos de inversión. *Pensamiento Crítico*, 11, 129-138. Disponible en: <https://doi.org/10.15381/pc.v11i0.9014>.
- Sapag, N (2020). *Proyectos de inversión: formulación y evaluación* (3ª ed.) Pearson.
- Villagra Torcomian, I. (2017). *Análisis de riesgo de un proyecto de inversión mediante el Método de Monte Carlo en condiciones de incertidumbre*. [Tesis de pregrado]. Repositorio Digital Universidad Nacional de Córdoba. Disponible en: <http://hdl.handle.net/11086/6335>.

SOBRE EL AUTOR

Nassir Sapag Chain ha formado a generaciones de profesionales en evaluación de proyectos, disciplina en la que es referente en Hispanoamérica. Es ingeniero comercial y magíster en Administración, fue prorector de la Universidad de Chile, director de empresas y consultor internacional en distintos países de la región. Dirige el Magíster en Formulación y Evaluación de Proyectos y es editor jefe del *Journal of Management and Business Studies* de la Universidad Autónoma de Chile, además de profesor visitante en posgrados de universidades extranjeras.

Autor de libros líderes en ventas publicados por las más importantes editoriales internacionales, sus textos son referencia en programas universitarios de toda Hispanoamérica, consolidando un legado reconocido con más de treinta premios en Chile y el extranjero.

En su más reciente publicación, el autor ofrece una exposición clara, exhaustiva y accesible de los conceptos y metodologías esenciales para integrar el análisis de riesgos en la evaluación de proyectos. A lo largo de cuatro capítulos, explica detalladamente los conceptos y principios fundamentales de la estadística, las finanzas y los modelos de simulación de Montecarlo.

Con un lenguaje sencillo y explicaciones detalladas, el autor nos guía a través de un caso práctico completo para mostrar el proceso para modelar el flujo de caja, la definición de supuestos para la simulación, la ejecución de esta y la interpretación de resultados. Esto incluye la generación de datos sobre la probabilidad estadística de éxito o fracaso del proyecto y la identificación de las variables que, de acuerdo con su comportamiento probabilístico, más se correlacionan con la rentabilidad.

Adoptando un enfoque práctico, Sapag enseña sobre cómo emplear los resultados obtenidos para efectuar un análisis de sensibilidad. Este permite evaluar la capacidad del proyecto para absorber el impacto de posibles variaciones en los valores de las variables críticas y para llevar a cabo un análisis que pueda prever diferentes escenarios futuros posibles.

El apéndice del libro es igualmente enriquecedor, ya que expone cómo se puede aplicar el análisis de sensibilidad para determinar el punto de indiferencia de la variable crítica estableciendo las condiciones bajo las cuales una opción de inversión es preferible sobre otra.

Esta obra, que destaca por el enfoque didáctico en la exposición de las ideas, es una herramienta valiosa para todo aquel que quiera conocer y aplicar los modelos de análisis de riesgos, aún sin ser especialistas en la materia.