

*Tercera edición*

# Introducción al análisis de riesgo financiero



**ECO E**  
**EDICIONES**

**Julio César Alonso C.**  
**Luis Berggrun P.**



## **Julio César Alonso**

Profesor e investigador de tiempo completo de la Universidad Icesi y director del Centro de Investigaciones en Economía y Finanzas (Cienfi) de esa universidad. Estudió una Maestría en Economía y otra en Estadística en la Universidad de Iowa State (EE.UU.), universidad de la cual recibió también el doctorado en Economía. También se ha desempeñado como investigador en Fedesarrollo. Ha publicado los resultados de sus investigaciones en revistas indexadas en ISI y Scopus.

## **Luis Berggrun P.**

Profesor e investigador de tiempo completo de la Universidad Icesi. Ha publicado los resultados de su investigación en revistas indizadas en ISI y Scopus como Emerging Markets Finance and Trade, Journal of Business Research, Latin American Business Review y Academia - Revista Latinoamericana de Administración. Posee además una Maestría en Finanzas Internacionales de la Universidad de Ámsterdam, en Holanda, y fue investigador en el área de riesgo financiero en el Banco Central Holandés. En 2010 concluyó sus estudios de doctorado en Administración con énfasis en Finanzas en la Universidad de Tulane (EE.UU.).

---

# INTRODUCCIÓN AL ANÁLISIS DE RIESGO FINANCIERO

---

Tercera Edición

Julio César Alonso C.

Luis Berggrun P.

<b>I</b>	<b>Conceptos fundamentales del riesgo</b>	<b>1</b>
<b>1.</b>	<b>El riesgo</b>	<b>3</b>
1.1.	Tipos de riesgo y sus fuentes . . . . .	4
1.2.	La necesidad de la gestión del riesgo . . . . .	8
1.3.	La medición y análisis del riesgo y la estadística . . . . .	9
1.4.	Ejercicios . . . . .	11
<b>2.</b>	<b>Sobre los rendimientos</b>	<b>13</b>
2.1.	El precio de un activo y su rendimiento como una variable aleatoria . . . . .	13
2.2.	Hechos estilizados . . . . .	16
2.2.1.	Hecho estilizado 1 . . . . .	20
2.2.2.	Hecho estilizado 2 . . . . .	20
2.2.3.	Hecho estilizado 3 . . . . .	21
2.2.4.	Hecho estilizado 4 . . . . .	22
2.3.	Comentarios finales . . . . .	22
<b>3.</b>	<b>Modelos para el análisis del riesgo financiero</b>	<b>23</b>
3.1.	El modelo CAPM . . . . .	23
3.1.1.	Una derivación sencilla del modelo CAPM . . . . .	26
3.1.2.	El modelo CAPM: un ejemplo sencillo . . . . .	30
3.2.	El modelo de tres factores de Fama y French . . . . .	32
3.2.1.	El modelo de tres factores: una aplicación . . . . .	34

3.3. Ejercicios . . . . .	35
<b>II Medición y gestión del riesgo de mercado</b>	<b>37</b>
<b>4. Precios, rendimientos y distribuciones especiales</b>	<b>39</b>
4.1. Distribución normal . . . . .	39
4.1.1. Generación de datos aleatorios . . . . .	45
4.2. Distribución lognormal . . . . .	46
4.3. La distribución lognormal y precios de los activos . . . . .	48
4.3.1. Estimación de los parámetros de la distribución lognormal . . . . .	52
4.3.2. Generación de una posible trayectoria aleatoria . . . . .	53
4.4. Ejercicios . . . . .	56
4.5. Anexo . . . . .	57
<b>5. Valor en riesgo: paramétrico y no paramétrico</b>	<b>59</b>
5.1. VaR para un portafolio con un solo activo . . . . .	61
5.1.1. Método paramétrico: el modelo normal . . . . .	62
5.1.2. Método no paramétrico - simulación histórica . . . . .	64
5.2. VaR para un portafolio con más de un activo . . . . .	66
5.2.1. Método paramétrico . . . . .	66
5.2.2. Método no paramétrico . . . . .	69
5.3. Ejercicios . . . . .	72
5.4. Anexo . . . . .	73
<b>6. Valor en riesgo: VaR para renta fija y opciones</b>	<b>77</b>
6.1. Valor en riesgo para instrumentos de renta fija . . . . .	78
6.1.1. Riesgo de tasas de interés . . . . .	78
6.1.2. Sensibilidad a cambios en la tasa de interés . . . . .	78
6.1.3. Duración . . . . .	81
6.1.4. Convexidad . . . . .	85
6.1.5. Cálculo del valor en riesgo para un instrumento de deuda . . . . .	87
6.1.6. Cálculo del valor en riesgo según el método estándar . . . . .	89
6.2. Valor en riesgo de opciones . . . . .	91
6.2.1. Simulación de Montecarlo para valorar opciones . . . . .	91
6.2.2. Ejemplo del cálculo del valor en riesgo de una opción . . . . .	92



6.2.3. Valor en riesgo para un <i>put</i> protectivo . . . . .	93
6.3. Ejercicios . . . . .	96
6.4. Anexo . . . . .	97
<b>7. Pruebas de <i>backtesting</i></b>	<b>99</b>
7.1. Proporción de excepciones y la prueba de Kupiec (1995) . . . . .	99
7.2. Comparación de modelos alternativos para el cálculo del VaR . . . . .	103
7.3. Ejercicios . . . . .	107
7.4. Anexo . . . . .	108
<b>III Temas especiales en la medición y gestión de riesgo</b>	<b>109</b>
<b>8. Modelos de volatilidad no constante</b>	<b>111</b>
8.1. Volatilidad histórica (promedio móvil con ponderaciones constantes) . . . . .	112
8.2. Promedio móvil con ponderaciones exponenciales ( <i>RiskMetrics</i> ) . . . . .	114
8.3. Modelos univariados de series de tiempo con varianza no constante . . . . .	115
8.3.1. Modelo ARCH (p) . . . . .	115
8.3.2. Modelo GARCH(p,q) . . . . .	117
8.3.3. Modelo TGARCH . . . . .	119
8.4. Modelo GARCH multivariado . . . . .	120
8.5. Ejercicios . . . . .	121
8.6. Caso para discusión . . . . .	122
<b>9. Medidas de desempeño ajustadas por riesgo</b>	<b>123</b>
9.1. Teoría convencional de evaluación del desempeño de inversiones . . . . .	123
9.1.1. Medidas de desempeño ajustadas al riesgo . . . . .	124
9.2. El modelo Treynor-Black . . . . .	133
9.2.1. Construcción del portafolio . . . . .	134
9.2.2. Ejemplo práctico . . . . .	135
9.3. Ejercicios . . . . .	138
<b>10. Razón de cobertura óptima</b>	<b>139</b>
10.1. Determinación de la razón de cobertura óptima . . . . .	139
10.1.1. Razón de cobertura para un portafolio internacional . . . . .	140
10.1.2. Razón de cobertura utilizando una regresión simple . . . . .	149

## IV Apéndices 153

### Apéndice A. Marco legal colombiano 155

A.1. El Acuerdo de Basilea I . . . . .	156
A.1.1. Componentes del capital (patrimonio) . . . . .	156
A.1.2. Deducciones del capital . . . . .	157
A.1.3. Las ponderaciones del riesgo . . . . .	157
A.1.4. Razón de solvencia mínima . . . . .	157
A.2. El Acuerdo de Basilea II . . . . .	158
A.2.1. Primer pilar: requerimientos mínimos de capital . . . . .	159
A.2.2. Segundo pilar: el proceso de revisión del supervisor . . . . .	161
A.2.3. Tercer pilar: disciplina de mercado . . . . .	164
A.3. Marco regulatorio colombiano . . . . .	164
A.3.1. Circular Externa 088 de 2000 de la Superintendencia Bancaria . . . . .	164
A.3.2. Decreto 1720, agosto de 2001 . . . . .	166
A.3.3. Circular Externa 042 de 2001 de Superintendencia Bancaria . . . . .	167
A.3.4. Resolución Número 138 de 2001 de la Superintendencia de Valores . . . . .	169
A.3.5. Circular externa No. 004 de 2003 de la Superintendencia de Valores . . . . .	170

### Apéndice B. Conceptos básicos de la estadística 173

B.1. Variables aleatorias . . . . .	173
B.2. Distribución de probabilidad . . . . .	175
B.3. Histogramas y polígonos de frecuencia . . . . .	178
B.4. Medidas de tendencia central . . . . .	182
B.4.1. Mediana poblacional y su estimador . . . . .	182
B.4.2. Media poblacional y su estimador . . . . .	183
B.5. Medidas de posición . . . . .	185
B.6. Medidas de dispersión y sus estimadores . . . . .	186
B.6.1. Rango o recorrido . . . . .	186
B.6.2. Varianza y desviación media . . . . .	187
B.6.3. Coeficiente de variación . . . . .	190
B.7. Medidas de forma y sus estimadores . . . . .	192
B.8. Covarianza y correlación entre dos variables aleatorias . . . . .	196
B.9. Comentarios finales . . . . .	200
B.10. Ejercicios . . . . .	201

B.11. Anexo . . . . .	202
<b>Apéndice C. Inferencia: Intervalos de confianza y pruebas de hipótesis</b>	<b>207</b>
C.1. Los estimadores puntuales . . . . .	208
C.2. Teorema del Límite Central . . . . .	210
C.3. Intervalos de confianza y pruebas de hipótesis . . . . .	213
C.3.1. Prueba de hipótesis e intervalo de confianza para la media . . . . .	214
C.3.2. Comparación de medias . . . . .	219
C.3.3. Prueba de hipótesis para la correlación . . . . .	220
C.4. Ejercicios . . . . .	222
<b>Apéndice D. Modelo de regresión lineal</b>	<b>223</b>
D.1. Regresión simple . . . . .	223
D.1.1. Estimando la pendiente e intercepto de una regresión simple . . . . .	228
D.1.2. Determinando la bondad de la regresión . . . . .	231
D.1.3. Interpretando los resultados de Excel . . . . .	233
D.2. Supuestos del modelo de regresión simple . . . . .	234
D.2.1. Varianza constante . . . . .	235
D.2.2. Autocorrelación . . . . .	237
D.2.3. Normalidad de los errores . . . . .	238
D.3. Modelo de regresión múltiple . . . . .	239
D.3.1. Cálculo y diagnóstico de una regresión múltiple . . . . .	241
D.4. Ejercicios . . . . .	243
<b>Apéndice E. Letras griegas</b>	<b>245</b>



La medición y gestión (manejo) del riesgo es una disciplina relativamente nueva, que ha surgido con gran dinamismo después de episodios de inestabilidad y crisis financieras que se presentaron en las décadas de los ochenta y noventa (como por ejemplo: la crisis de la deuda externa en la mayoría de países latinoamericanos en los ochenta, la caída de la Bolsa de Nueva York en 1987, la explosión de las burbujas financieras e inmobiliarias en Japón en los noventa y la de las empresas “.com” a finales de los noventa, el Tequilazo en México durante 1994, la crisis financiera en el sudeste asiático en 1997, y las de Rusia y Argentina en 1997 y en 1998, respectivamente).

Estos acontecimientos, materializaciones de los riesgos existentes, han puesto de manifiesto la necesidad de la medición y el manejo de riesgo en un mundo cada vez más interconectado. Así, hoy en día la medición y la gestión del riesgo se han convertido en rutina ineludible en las instituciones financieras y tesorerías de grandes firmas.

En 2008 y 2009, tras la crisis inmobiliaria y la caída de todas las bolsas de valores del mundo, las medidas de riesgo se han convertido de nuevo en una fuente de discusión. Las discusiones entre académicos, administradores de riesgo y reguladores han puesto de manifiesto la necesidad de afinar las medidas de riesgo disponibles. Es más, la crisis de 2008, antes de terminar la medición del riesgo como un área de estudio, ha creado la necesidad de continuar ajustando las actuales medidas de riesgo. Este libro presenta los principios presentes en los modelos de medición de riesgo más empleados en la actualidad.

Los riesgos que enfrenta una organización pueden ser de distinta naturaleza. Quizás los riesgos más comunes a los cuales esta se enfrenta son: el riesgo de mercado, el riesgo crediticio, el riesgo de liquidez, el riesgo operacional y el riesgo de negocio. En este texto se hará énfasis en el primero, el cual se refiere a aquel provocado por los movimientos en precios de mercado tales como precios de acciones, tasa de cambio, tasas de interés y precios de *commodities*.

Igualmente, en la actualidad, el riesgo es uno de los temas principales de la teoría financiera que ha implicado un gran esfuerzo de académicos y profesionales del área para entender mejor este fenómeno y, particularmente en el caso de los últimos, para sacar beneficio de este.

En este sentido, el primer paso para beneficiarse del riesgo, después de identificarlo, es medirlo y, de ser posible, predecirlo. En especial, para sacarle provecho o protegerse del riesgo es necesario diseñar un sistema eficiente de gestión del riesgo.

Este libro apunta en esa dirección. Es así que uno de nuestros objetivos será medir el incierto comportamiento de las variables de interés (para poder predecir o inferir el comportamiento futuro), que es desconocido e incierto, a partir de la información histórica con la ayuda de la estadística y de la teoría financiera. Todo ello con la esperanza de que estos pronósticos permitan reducir con cierto grado de precisión la incertidumbre sobre el futuro y por tanto coadyuven a una mejor gestión del riesgo.

## Contenido del libro

Este libro se divide en tres partes. En la primera, que abarca los tres primeros capítulos, se brindan los fundamentos para entender el riesgo, así como tal vez los dos modelos teóricos más utilizados para analizarlo: el modelo CAPM (Capital Asset Pricing Model o modelo de valoración de activos de capital) y el modelo de tres factores (de riesgo) propuesto por Fama & French.

Más concretamente, el Capítulo 1 analiza qué se entiende por riesgo, en especial riesgo financiero, con énfasis en el riesgo de mercado, explicando la necesidad de la gestión del riesgo en las organizaciones, así como el papel que cumple la ciencia estadística en la puesta en marcha de un sistema eficiente de gestión de riesgo orientado en principios teóricos robustos.

El Capítulo 2 continúa el estudio del riesgo de mercado, es decir, aquel provocado por los movimientos en los precios de mercado. Dicho capítulo se centra en el estudio del comportamiento de los precios de mercado de los activos y de sus cambios (retornos). Inicialmente, se discute el concepto del precio como una variable aleatoria, así como factores que se deben tener en cuenta en la medición de los retornos, ya sea de manera simple o logarítmica. Adicionalmente, se analizan cuatro hechos estilizados relacionados con los precios y retornos de los activos que justifican el empleo de métodos estadísticos para la medición del riesgo y su gestión.

El Capítulo 3 expone el modelo CAPM, el cual afirma que existe una relación lineal y unidimensional entre el riesgo y el retorno de los activos. Este modelo se ha utilizado en innumerables aplicaciones en el área financiera tales como la valoración de activos, estimación del costo de capital, evaluación de desempeño de inversiones, entre otras. Además, se introduce el modelo de tres factores de Fama & French, el cual también intenta explicar la relación riesgo y retorno para los activos financieros. En particular, este modelo (a diferencia del CAPM) identifica no uno, sino varios factores de riesgo al invertir. Un inversionista, además de ser compensado por soportar las fluctuaciones del mercado en general, será compensado adicionalmente por variables que se relacionan con el tamaño y las dificultades financieras que las empresas pueden afrontar.

La segunda parte del texto, que abarca los Capítulos 4 al 7, tal vez constituye el núcleo central de esta publicación.

Inicialmente, se discuten las distribuciones estadísticas más utilizadas para estudiar el precio y retorno de los activos financieros como lo son la distribución normal y la lognormal.



Se introduce un concepto central en la gestión del riesgo de mercado como el valor en riesgo, o VaR por su sigla en inglés (*Value at Risk*). Este mide (estima) la máxima pérdida posible para un determinado horizonte de tiempo y un nivel de significancia bajo circunstancias normales de mercado.

Esta sección concluye con las pruebas de *backtesting*, es decir, las técnicas empleadas para determinar la precisión de una determinada aproximación al cálculo del valor en riesgo. Se trata de determinar qué tan buena es una aproximación para calcular el VaR y si el modelo está sobrevalorando o subvaluando el riesgo.

En concreto, el Capítulo 4 estudia la distribución normal y sus características que la hacen una distribución frecuentemente utilizada en el campo financiero. Se observa cómo el comportamiento de una variable aleatoria se puede describir a través de conceptos sencillos como la media y la desviación estándar. Igualmente, se analiza la distribución lognormal, que permite describir mejor la trayectoria de precios de los activos por cuanto en la práctica los fenómenos financieros presentan un comportamiento multiplicativo y no aditivo. Igualmente, utilizando la distribución lognormal, se explica el proceso de generación de trayectorias del precio de un activo a partir de simulación.

El Capítulo 5 trata el tema del VaR y su importancia en el proceso de gestión del riesgo de mercado. Se cubre el cálculo del VaR a través de dos aproximaciones: una paramétrica, es decir, una que supone un comportamiento de los retornos de los activos, y una no paramétrica, como la de simulación histórica, en la que se emplean datos históricos para inferir de ellos un comportamiento de los retornos. Se explica en detalle el cálculo del VaR para el caso de un activo individual y de un portafolio, así como la contribución de los activos individuales al VaR de un portafolio.

El Capítulo 6 complementa el capítulo anterior y se centra en el cálculo del VaR para el caso de activos de renta fija y opciones. A través del uso de conceptos sencillos como la duración y convexidad de un bono, se analiza el impacto de la variación en las tasas de interés en el precio de los bonos. Con estos conceptos se elabora una medida del valor en riesgo para instrumentos de renta fija. Finalmente, a través de la simulación de Montecarlo, técnica que permite valorar opciones (derivado financiero), se estima el VaR para una opción, así como para algunas estrategias que hacen uso de ellas.

El Capítulo 7 finaliza esta sección con las pruebas de *backtesting* o calibración y verificación de un modelo VaR. Se explica el concepto de excepción y un test de hipótesis para probar si el VaR provee la cobertura (no condicionada) deseada (que debe ser igual al nivel de significancia), así como una manera de comparar distintas aproximaciones del cálculo del VaR.

La última sección del libro abarca los tres últimos capítulos. En esta se abordan temas especiales en el manejo y la gestión del riesgo como la teoría tradicional de la evaluación del desempeño de inversiones, los modelos de volatilidad no constante que pueden servir como alternativa de cálculo del VaR (y de la simulación de trayectorias de precio de un activo) a las que se utilizaron en la segunda sección y la estimación de la razón de cobertura óptima (*hedge ratio*).

El Capítulo 8 aborda el tema de los modelos de volatilidad no constante más utilizados en el campo financiero. Empíricamente, se ha observado que la volatilidad no tiende a ser constante y que, además, presenta fenómenos relacionados con la volatilidad agrupada (véase capítulo

2). En un inicio se presentan modelos relativamente sencillos para modelar la volatilidad no constante y más adelante se estudian modelos relativamente más complejos, como los modelos de series de tiempo univariados y multivariados. En este aspecto, se incluye un ejemplo del cálculo del VaR con un modelo de series de tiempo univariado.

El capítulo siguiente explica algunas medidas de desempeño de inversiones ajustadas por riesgo como la razón de Sharpe y de Treynor, el alfa de Jensen, el indicador de evaluación o tasación y el indicador  $M^2$ . Adicionalmente, se trabaja con el modelo Treynor-Black para la escogencia de un portafolio óptimo que recoge la utilización de diversos conceptos relacionados con el modelo CAPM (que también sirven para el cálculo de las medidas de desempeño).

Finalmente, en el Capítulo 10, se ilustran dos métodos para calcular la razón de cobertura óptima (*hedge ratio*). Por razón de cobertura se entiende la fracción de una posición en un activo que se quiere asegurar (o inmunizar) de la variación de precios, tasas de interés o de cambio, con el uso de instrumentos derivados. El primer método que se puede utilizar en el caso de un portafolio con activos extranjeros asimila a los instrumentos derivados (específicamente *forwards*) como un activo más en el proceso de optimización bajo restricciones. El segundo método utiliza una regresión simple para el cálculo de la razón de cobertura óptima.

El texto contiene además un anexo legal para Colombia y tres anexos estadísticos. El anexo legal revisa brevemente el marco regulatorio colombiano para la gestión del riesgo. Así mismo, se da una breve mirada al contexto regulatorio internacional establecido por el Comité de Basilea. En concreto, se analizan los Acuerdos de Basilea I, II y III. Este último se ha convertido en la fuente de regulación bancaria internacional.

El primer anexo estadístico trata conceptos estadísticos básicos como el de distribución de probabilidad, medidas de tendencia central y dispersión, así como el de medidas que permiten relacionar dos variables.

El segundo anexo estadístico expone los estimadores puntuales, el Teorema del Límite Central y las pruebas de hipótesis e intervalos de confianza. Estos dos últimos temas ayudan en el problema de obtener estimadores poblacionales a través de estimadores muestrales.

En el tercer anexo estadístico se discute el tema de la regresión lineal. En este se exploran temas como el de la estimación e interpretación de una regresión simple, así como el análisis necesario para verificar la posible violación de los supuestos en que se basa dicha estimación. Igualmente, se analiza el tema de la regresión múltiple.

## Audiencia de este libro

Este libro va dirigido a los siguientes lectores:

- Estudiantes a nivel de especialización o maestría con conocimientos básicos (previos) de finanzas y estadística. No se descarta el uso de este libro en cursos de pregrado, siempre y cuando los estudiantes tengan unas buenas bases estadísticas y financieras.
- Ejecutivos que se desempeñen en empresas del sector real, bancos, comisionistas de bolsas, fondos de pensiones, fiduciarias, entre otras, en las cuales el riesgo de mercado hace una parte integral del negocio.

## Otros títulos de su interés

Matemáticas financieras  
empresariales  
*Juan Antonio Flórez Uribe*

Modelos financieros con Excel  
*Jairo Gutiérrez Carmona*

Matemáticas financieras con  
fórmulas, calculadora  
financiera y Excel  
*Jairo Gutiérrez Carmona*

Matemáticas financieras aplicadas  
*Jhonny de Jesús Meza Orozco*

Análisis financiero  
Enfoque y proyecciones  
*Diego Baena Toro*



# Introducción al análisis de riesgo financiero



La medición y gestión (manejo) del riesgo es una disciplina relativamente nueva, que ha surgido con gran dinamismo después de episodios de inestabilidad y crisis financieras que se presentaron en las décadas del ochenta y noventa, como por ejemplo: la crisis de la deuda externa en la mayoría de países latinoamericanos en los ochenta, la caída de la Bolsa de Nueva York en 1987, la explosión de las burbujas financieras e inmobiliarias en Japón en los noventa y la de las empresas ".com" a finales de los noventa, el "tequilazo" en México durante 1994, la crisis financiera en el sudeste asiático en 1997 y las de Rusia y Argentina en 1997 y en 1998, respectivamente.

En 2008 y 2009 tras la crisis inmobiliaria y la caída de todas las bolsas de valores del mundo, las medidas de riesgo se han convertido de nuevo en una fuente de discusión. Las discusiones entre académicos, administradores de riesgo y reguladores han puesto de manifiesto la necesidad de afinar las medidas de riesgo disponibles. Es más, la crisis de 2008 antes de terminar la medición del riesgo como un área de estudio, ha creado la necesidad de continuar ajustando las actuales medidas de riesgo. Este libro presenta los principios presentes en los modelos de medición de riesgo de mercado más empleados en la actualidad.

**Colección:** Ciencias empresariales

**Área:** Contabilidad y finanzas

**ECO E**  
**EDICIONES**



[www.ecoediciones.com](http://www.ecoediciones.com)

ISBN 978-958-771-188-2



9 789587 711882

e-ISBN 978-958-771-188-9