

MEDICIÓN DEL RIESGO Y DEL COSTO DE
CAPITAL CON BETA PERT EN BOLIVIA:
UNA NUEVA METODOLOGÍA APLICADA
A EMPRESAS REALES

*MEASURING RISK AND COST OF
CAPITAL WITH BETA PERT IN BOLIVIA:
A NEW METHODOLOGY APPLIED TO
REAL COMPANIES*

Juan Francisco Mercado Céspedes¹

1 xxxxxxxx

RESUMEN

Esta investigación presenta una nueva metodología para calcular el riesgo financiero de una empresa o de una inversión, representado por el coeficiente Beta, un indicador que mide cuánto riesgo asume un inversionista al colocar su dinero en determinado proyecto.

El coeficiente Beta se obtiene normalmente dividiendo la covarianza entre la varianza, pero los métodos tradicionales desarrollados en países como Estados Unidos utilizan la distribución normal, la cual exige al menos 30 datos históricos para ofrecer resultados confiables. En países emergentes como Bolivia, donde la información financiera es limitada y los mercados son poco líquidos, aplicar ese modelo se vuelve prácticamente imposible.

Frente a esta limitación, se desarrolló en Santa Cruz de la Sierra, Bolivia, una nueva fórmula de covarianza dentro de la distribución Beta PERT, que permite obtener resultados precisos utilizando solo tres valores: mínimo, máximo y probable.

Esta metodología, validada en investigaciones previas, se aplica en este estudio a 40 empresas bolivianas de siete sectores.

Los resultados demuestran que es posible calcular el riesgo financiero y el costo de capital de manera realista,

eficiente y adaptada a la economía boliviana, ofreciendo una herramienta útil tanto para empresarios como para inversionistas, universidades y analistas financieros.

Palabras claves: Riesgo financiero, Costo de capital, Coeficiente beta, Beta PERT.

Clasificación JEL: G32, G12, C13, C15, O16, F65

ABSTRACT

This research presents a new methodology to calculate the financial risk of a company or an investment, represented by the Beta coefficient, an indicator that measures how much risk an investor takes when allocating capital to a specific project.

The Beta coefficient is typically obtained by dividing covariance by variance, but traditional methods developed in countries such as the United States rely on the normal distribution, which requires at least 30 historical data points to produce reliable results. In emerging economies like Bolivia, where financial information is limited and markets are illiquid, applying this model becomes practically impossible.

To address this limitation, a new covariance formula within the Beta PERT distribution was developed in Santa Cruz de la Sierra, Bolivia, allowing accurate results to be

obtained using only three values: minimum, maximum, and most likely.

This methodology, validated in previous research, is applied in this study to 40 Bolivian companies from seven key sectors.

The findings demonstrate that it is possible to calculate financial

risk and cost of capital in a realistic, efficient, and context-adapted manner, providing a valuable tool for entrepreneurs, investors, universities, and financial analysts.

Keywords: *Financial risk, Cost of capital, Beta coefficient, Beta PERT.*

INTRODUCCIÓN

Problema de investigación

A pesar de que cada vez más empresas bolivianas participan en el mercado de valores y acceden a mecanismos de financiamiento formales, no existe una metodología consolidada y adaptada a la realidad del país que les permita estimar su riesgo financiero y su costo de capital de manera precisa. La mayoría de los modelos utilizados, como el CAPM clásico, han sido diseñados para contextos financieros desarrollados, con mercados líquidos, estables y altamente informados, lo cual no se corresponde con las características estructurales de la economía boliviana. En ese sentido, es común que se recurra a coeficientes beta obtenidos de fuentes internacionales, como bases de datos de EE. UU., sin considerar que estos valores no reflejan el comportamiento de riesgo de sectores locales ni el contexto

macroeconómico nacional. Además, la baja disponibilidad de datos históricos confiables y la escasa profundidad del mercado bursátil dificultan la aplicación de métodos estadísticos tradicionales, como el cálculo de covarianzas a partir de series extensas. Esta situación genera múltiples consecuencias, entre ellas: una distorsión sistemática en la valoración de empresas, decisiones de inversión mal fundamentadas, pérdida de confianza en los instrumentos financieros nacionales, y una ralentización en el desarrollo del mercado de capitales. Frente a esta problemática, el presente trabajo busca aplicar y demostrar una metodología alternativa desarrollada en Santa Cruz de la Sierra basada en la distribución Beta PERT, que permite calcular el coeficiente beta de manera más realista y, con ello, estimar un costo de capital ajustado a la economía boliviana y útil para la toma de decisiones empresariales e inversionistas.

Objetivo general de la investigación

Aplicar una nueva metodología basada en la distribución Beta PERT para estimar el coeficiente beta y calcular el costo de capital en empresas bolivianas de diferentes sectores, utilizando información financiera real y reciente, con el fin de generar una herramienta ajustada a la realidad de los mercados emergentes que contribuya a mejorar la toma de decisiones financieras.

Justificación y relevancia del estudio

En el mundo financiero, uno de los principales desafíos para empresarios e inversionistas es cuantificar el riesgo que implica invertir en una empresa. Para esto, existe una herramienta clave: el coeficiente beta.

El coeficiente beta es un número que nos dice cuánto se mueve una empresa en comparación con el mercado. Por ejemplo, si el beta de una empresa es 1, significa que se comporta igual que el mercado; si es mayor a 1, es más riesgosa (se mueve más que el mercado); si es menor a 1, es más estable (menos riesgosa). Es como un "termómetro del riesgo": cuanto más alto el beta, mayor la incertidumbre para quien invierte.

Ahora bien, ese nivel de riesgo influye directamente en cuánto retorno debería pedir un inversionista por poner su dinero en esa empresa. Esa exigencia mínima de rendimiento se llama costo de capital. Por ejemplo: si una empresa tiene un costo de capital del 12%, significa que todo proyecto que genere menos de ese 12% anual destruiría valor, porque no compensa el riesgo que asume el inversionista.

El problema es que, en Bolivia y en muchos países emergentes, este tipo de cálculos suelen hacerse con valores referenciales de otros países, como betas de empresas estadounidenses o europeas. Esto genera errores importantes, porque el riesgo de operar en Bolivia no es el mismo que en Nueva York o Berlín.

Frente a este vacío, la presente investigación cobra un valor estratégico y metodológico. No solo porque aplica un nuevo modelo para calcular el beta utilizando la distribución Beta PERT diseñada para escenarios de incertidumbre, sino porque lo hace con datos reales, recientes y propios de empresas bolivianas.

Breve descripción del aporte metodológico

El principal aporte de esta investigación es la aplicación y validación de una nueva metodología

para calcular el coeficiente beta, basada en la distribución Beta PERT, desarrollada por el autor de esta investigación, MSc. Juan Francisco Mercado Céspedes. Esta propuesta metodológica fue concebida inicialmente en el año 2019, como respuesta a una problemática concreta que afecta a Bolivia y a muchos países emergentes: la falta de datos históricos suficientes tanto en la Bolsa Boliviana de Valores como en los estados financieros publicados por las empresas. Esta limitación impedía aplicar de forma adecuada los métodos estadísticos tradicionales para estimar el riesgo sistemático.

La distribución Beta PERT es ampliamente utilizada en la gestión de proyectos, ya que permite realizar estimaciones confiables a partir de tres valores fundamentales: el mínimo, más probable y el máximo. A diferencia de otras distribuciones, el modelo PERT no requiere una base de datos extensa para calcular una media ponderada y una varianza asociada, lo cual resulta ideal en contextos con alta incertidumbre y escasa información.

En su forma clásica, la distribución Beta PERT se emplea para estimar promedios y varianzas. Sin embargo, la innovación propuesta por Torrico y Mercado va más allá: incorpora una fórmula original para calcular entre variables aleatorias definidas por este tipo de distribución. Esta extensión permite aplicar el modelo

a la estimación del coeficiente beta financiero relación entre el rendimiento de una empresa y el mercado incluso en ausencia de series históricas completas o datos de alta frecuencia.

REVISIÓN DE LITERATURA

1. Riesgo financiero y su medición en finanzas corporativas

En el ámbito de las finanzas corporativas, el riesgo financiero representa una variable determinante en la toma de decisiones, ya que permite anticipar el grado de incertidumbre asociado al rendimiento esperado de una inversión. Según Gitman y Zutter (2021), el riesgo financiero se puede clasificar en dos grandes categorías: riesgo sistemático (no diversificable) y riesgo no sistemático (diversificable). Mientras el primero está relacionado con factores externos al control de la empresa (como la inflación, la política fiscal o la tasa de interés), el segundo está vinculado con decisiones internas o eventos específicos de la organización.

Ross, Westerfield y Jordan (2021) señalan que uno de los principales desafíos en mercados emergentes es cuantificar este riesgo de forma precisa, debido a la falta de información confiable y la baja profundidad del mercado. En este contexto, se

vuelve esencial contar con métricas estandarizadas que permitan estimar y comparar el riesgo financiero entre empresas y sectores, especialmente cuando se busca determinar el costo de capital y tomar decisiones de inversión informadas.

1.1. Definición y clasificación del riesgo: sistemático vs. no sistemático

1.1.1 Riesgo sistemático

En el análisis financiero, el riesgo representa una variable fundamental que influye directamente en la toma de decisiones de inversión y en la estimación del rendimiento esperado. En términos simples, el riesgo financiero es la probabilidad de que los resultados obtenidos difieran de los resultados esperados, ya sea en la rentabilidad de un activo, en el flujo de caja de un proyecto o en el valor de una empresa. Su correcta identificación, medición y gestión es uno de los pilares de la teoría financiera moderna.

Desde el enfoque clásico, el riesgo financiero se divide en dos grandes categorías: el riesgo sistemático y el riesgo no sistemático. Esta distinción es clave porque determina qué parte del riesgo es relevante para los inversionistas, especialmente en la estimación del costo de capital a través de modelos como el CAPM (Capital Asset Pricing Model).

El riesgo sistemático, también conocido como riesgo de mercado, no diversificable o sistémico, es aquel que afecta a todos los activos del mercado en mayor o menor medida. Ross et al. (2021) lo definen como la “forma de sorpresa” que influye en muchos activos a la vez, independientemente del sector o tipo de empresa. Ejemplos de riesgos sistemáticos incluyen eventos como recesiones económicas, cambios drásticos en tasas de interés, inflación persistente, conflictos geopolíticos o crisis financieras globales. Berk y DeMarzo (2008) también lo describen como el tipo de riesgo asociado a noticias que impactan a todo el mercado simultáneamente, como ocurre con los terremotos: ningún activo queda exento.

Una característica fundamental del riesgo sistemático es que no puede eliminarse mediante diversificación. Incluso los portafolios más amplios y diversificados seguirán estando expuestos a este tipo de riesgo. Por ello, el mercado sí recompensa al inversionista por asumir riesgo sistemático, lo que justifica la existencia de una prima por riesgo. Como lo afirman Ross et al. (2021), el principio del riesgo sistemático sostiene que la rentabilidad esperada de una inversión depende exclusivamente de este componente, y no del riesgo total. Esto tiene una implicancia directa: el inversionista solo será compensado por el riesgo que no puede evitar, es decir, el riesgo de mercado.

1.1.2. Riesgo no sistemático

En contraste, el riesgo no sistemático, también denominado riesgo específico, idiosincrático, diversificable o único, afecta únicamente a una empresa, industria o grupo reducido de activos. Está relacionado con factores internos, como una mala administración, problemas operativos, decisiones estratégicas equivocadas, escándalos corporativos o cambios regulatorios sectoriales. Según Ross et al. (2021), este tipo de riesgo representa sorpresas que afectan a una sola empresa o a un conjunto pequeño, y por tanto pueden neutralizarse mediante la diversificación del portafolio. Berk y DeMarzo (2008) comparan este riesgo con robos a viviendas: son eventos individuales, independientes entre sí y no correlacionados, lo que permite reducir su impacto al combinar activos heterogéneos.

Dado que el riesgo no sistemático puede eliminarse casi sin costo a través de una adecuada diversificación, el mercado no premia a los inversionistas por asumirlo. Por esta razón, en la práctica financiera, el análisis de riesgo y retorno se centra en cuantificar únicamente el riesgo sistemático. Esto se logra mediante el uso del coeficiente beta, una medida estadística que indica la sensibilidad del rendimiento de un activo frente a los movimientos del mercado general. Como indica Ross et al. (2021), un beta igual a 1 implica

que el activo se comporta como el mercado; un beta mayor a 1 sugiere un activo más volátil y riesgoso; mientras que un beta menor a 1 representa un activo más estable.

Por tanto, la correcta identificación y separación de estos dos tipos de riesgo es esencial para establecer el rendimiento mínimo requerido (costo de capital) que compense adecuadamente el riesgo asumido. Ignorar esta diferencia o utilizar herramientas inadecuadas para medir el riesgo sistemático puede llevar a estimaciones erróneas del costo de capital, lo cual afecta directamente la valoración de proyectos, empresas y decisiones estratégicas de inversión.

2. El coeficiente beta como medida del riesgo sistemático

2.1 Qué es la beta, cómo se interpreta

En finanzas corporativas, el coeficiente beta (β) es la medida cuantitativa más utilizada para evaluar el riesgo sistemático de un activo en relación con el mercado en su conjunto. Representa la sensibilidad del rendimiento de una acción o activo frente a los movimientos generales del mercado, y se convierte en un componente clave para la determinación del costo de capital en modelos como el CAPM (Capital Asset Pricing Model).

Berk y DeMarzo (2008) definen a la beta como una medida que refleja la exposición de un valor a factores de riesgo que abarcan todo el mercado. En el caso de una acción, el valor de beta se relaciona con el grado en que sus ingresos y flujos de efectivo son sensibles a las condiciones económicas generales. Las empresas que operan en sectores cíclicos, cuyos ingresos varían considerablemente a lo largo del ciclo económico, suelen tener betas elevadas, ya que sus resultados dependen fuertemente del entorno macroeconómico. En cambio, empresas de sectores más estables como servicios básicos, alimentos o energía regulada tienden a presentar betas más bajas, ya que sus ingresos son menos sensibles al contexto económico.

En términos prácticos, un activo con $\beta = 1$ tiene un nivel de riesgo sistemático igual al del mercado promedio. Si el mercado sube o baja un 10%, se espera que este activo también suba o baje en la misma proporción. Un activo con $\beta > 1$ es más volátil que el mercado, y por lo tanto más riesgoso: por ejemplo, si $\beta = 1,5$ y el mercado sube 10%, el activo tenderá a subir un 15%. Por el contrario, un activo con $\beta < 1$ es menos volátil, es decir, más estable. Un beta de 0,5 indica que, ante una variación del 10% en el mercado, el activo solo se moverá en un 5%.

Este comportamiento es clave en la determinación del rendimiento exigido por los inversionistas. Cuanto mayor sea la beta, mayor será el riesgo sistemático y, en consecuencia, mayor será el rendimiento mínimo que el mercado exigirá para compensar ese riesgo. Por ello, el coeficiente beta no solo es una herramienta estadística, sino una base fundamental para calcular el costo de capital propio (K_e) y tomar decisiones de inversión o financiamiento.

Ross, Westerfield y Jordan (2021) explican que el beta puede interpretarse como una medida relativa del riesgo. Un activo con $\beta = 1$ tiene un riesgo sistemático igual al del mercado promedio. Si $\beta > 1$, el activo es más volátil que el mercado; y si $\beta < 1$, es más estable. Por ejemplo, un beta de 1,5 implica que, si el mercado sube 10%, se espera que el activo suba aproximadamente 15%. Esta relación directa entre beta y rentabilidad esperada es fundamental: cuanto mayor es el beta, mayor debe ser el rendimiento exigido por los inversionistas para compensar el riesgo asumido (Ross et al., 2021).

Damodaran (2023) complementa esta idea al señalar que el coeficiente beta no mide el riesgo total de un activo, sino únicamente su componente sistemático, es decir, aquel que no puede eliminarse a través de la diversificación. Esto justifica por qué los inversionistas no reciben

compensación adicional por asumir riesgos específicos (o diversificables), y por qué el beta es el parámetro central en la determinación del costo de capital propio (K_e).

2.2 Métodos tradicionales para estimar beta (regresión lineal, covarianza)

El coeficiente beta se ha estimado tradicionalmente mediante métodos estadísticos aplicables a series históricas de datos, siendo los más comunes la regresión lineal simple y el uso directo de la fórmula de la covarianza entre los rendimientos del activo y del mercado.

Uno de los métodos más utilizados es la regresión lineal simple, en la cual los rendimientos del activo (empresa) se colocan como variable dependiente y los rendimientos del mercado como variable independiente. El coeficiente beta corresponde a la pendiente (β_1) de la línea de regresión. Según Ross, Westerfield y Jordan (2021), este enfoque permite observar no solo la relación estadística entre ambas variables, sino también el grado en que las variaciones en el mercado explican las fluctuaciones del rendimiento de una acción individual.

Otra forma equivalente, aunque más técnica, es calcular el beta mediante la fórmula estadística de la covarianza:

$$\beta_i = \frac{Cov(R_i, R_m)}{Var(R_m)}$$

R_i : Es el rendimiento del activo o empresa,

R_m : Es el rendimiento del mercado,
 $Cov(R_i, R_m)$: Es la covarianza entre ambos rendimientos,

$Var(R_m)$: Es la varianza del rendimiento del mercado.

Esta fórmula parte de la premisa de que el beta mide la variación conjunta entre la acción y el mercado, en relación con la variabilidad total del mercado. Como explica Damodaran (2023), el numerador representa cuánto tiende la acción a moverse junto con el mercado, mientras que el denominador captura la magnitud de los cambios del mercado en sí.

Ambos métodos regresión lineal y fórmula de covarianza requieren una serie de datos históricos consistentes y suficientes, normalmente de frecuencia diaria, semanal o mensual. Este requerimiento representa una dificultad considerable en mercados emergentes como el boliviano, donde muchas empresas no cotizan activamente, o la información histórica disponible es incompleta, discontinua o difícil de acceder.

Por estas limitaciones, el uso exclusivo de los métodos tradicionales puede generar estimaciones inestables, poco confiables o incluso imposibles de aplicar. En ese contexto,

surge la necesidad de metodologías alternativas, como la propuesta en esta investigación, que aprovechan la flexibilidad de la distribución Beta PERT para trabajar con rangos estimados de rendimiento (mínimo, más probable y máximo) en lugar de series históricas continuas.

2.3. Limitaciones del cálculo tradicional de beta en mercados emergentes

Aunque el coeficiente beta es una herramienta ampliamente utilizada en finanzas para medir el riesgo sistemático, su cálculo tradicional presenta importantes limitaciones cuando se aplica en contextos de mercados emergentes. Estas limitaciones se deben tanto a condiciones estructurales como a restricciones técnicas, que dificultan obtener estimaciones precisas y representativas en economías como la boliviana.

Una de las principales barreras es la escasez de datos históricos consistentes y de libre acceso. En muchos países emergentes, el mercado bursátil tiene poca profundidad y baja liquidez, lo que impide contar con series de tiempo suficientemente largas, estables y continuas para aplicar modelos como la regresión lineal o la fórmula de la covarianza (Damodaran, 2023). Esta falta de datos limita la posibilidad de estimar un beta estadísticamente robusto y confiable.

Además, los datos disponibles suelen estar concentrados en unos pocos sectores financieros, como banca o seguros, mientras que muchas otras industrias especialmente las agroindustriales, manufactureras o de servicios no cotizan en bolsa o lo hacen de forma esporádica. Esta falta de representatividad sectorial lleva a que se utilicen betas referenciales internacionales que, si bien son accesibles, no reflejan el contexto operativo, regulatorio ni económico de los países emergentes, generando distorsiones importantes (Dumrauf, 2010).

Por otro lado, los mercados emergentes enfrentan altos niveles de volatilidad macroeconómica, devaluaciones cambiarias, cambios fiscales y tensiones políticas que afectan directamente a los rendimientos del mercado y de las empresas. Esto introduce ruido estadístico en los modelos tradicionales, haciendo que los betas estimados presenten inestabilidad en el tiempo y escasa capacidad predictiva (Ross, Westerfield & Jordan, 2021).

Finalmente, en la práctica, muchas empresas recurren a bases de datos globales para obtener betas genéricos por sector, como los provistos por Damodaran. Sin embargo, este tipo de aproximaciones ignoran por completo las particularidades del país, como el riesgo político local, la estructura del sistema financiero, los niveles

de informalidad o la dependencia de materias primas, lo que debilita cualquier análisis serio del costo de capital.

2.4. Beta sectorial vs. beta propio

En el análisis del riesgo sistemático de una empresa, una decisión crucial consiste en elegir entre utilizar un beta sectorial o calcular un beta propio. Esta elección tiene implicaciones directas en la estimación del costo de capital, ya que el coeficiente beta representa la sensibilidad de la empresa frente a los movimientos del mercado, y por tanto define el nivel de retorno exigido por los inversionistas.

El beta sectorial es un promedio calculado a partir de los betas de varias empresas pertenecientes a una misma industria. Se utiliza comúnmente como una referencia cuando no se cuenta con suficiente información histórica para calcular el beta de forma directa. Damodaran (2023), por ejemplo, publica anualmente tablas con betas sectoriales ajustados por apalancamiento, utilizados por analistas de todo el mundo para estimar el costo de capital en procesos de valoración. Esta práctica es útil en mercados desarrollados, donde los sectores están bien definidos, las empresas cotizan regularmente y existe amplia disponibilidad de datos confiables.

Sin embargo, en mercados emergentes como Bolivia, la aplicabilidad de los betas sectoriales internacionales es limitada, debido a las profundas diferencias en términos de estructura de mercado, regulación, tamaño de empresas, condiciones macroeconómicas y riesgos país. Utilizar un beta promedio del sector “retail” de Estados Unidos para valorar una empresa boliviana del mismo rubro puede generar distorsiones significativas, ya que los niveles de exposición al riesgo son completamente distintos (Dumrauf, 2010).

En contraposición, el beta propio es aquel que se calcula específicamente para una empresa individual, utilizando datos de rendimiento de la misma en relación con el mercado. Este enfoque permite una medición más precisa del riesgo sistemático real que enfrenta la empresa, considerando su contexto operativo, estructura de capital, nivel de apalancamiento y particularidades locales. Como señalan Koller, Goedhart y Wessels (2020), el beta propio es más representativo, especialmente cuando el análisis busca decisiones internas como valorar un nuevo proyecto, determinar la tasa de descuento o evaluar fusiones y adquisiciones.

No obstante, calcular el beta propio en mercados emergentes enfrenta las mismas dificultades estructurales señaladas en apartados anteriores: datos incompletos, poca frecuencia

de cotización, ausencia de indicadores de mercado confiables, y bajo acceso a información financiera detallada. Por estas razones, muchos analistas terminan optando por utilizar betas sectoriales internacionales, a pesar de las limitaciones que esto conlleva.

3. Modelo CAPM y cálculo del costo de capital

El Capital Asset Pricing Model (CAPM) es uno de los modelos más reconocidos y utilizados en finanzas para estimar el costo de capital propio (K_e). Fue desarrollado a partir de los aportes teóricos de Sharpe (1964), Lintner (1965) y Mossin (1966), y se basa en la relación entre el riesgo sistemático de un activo (medido por su coeficiente beta) y la rentabilidad mínima que un inversionista exigirá para asumir dicho riesgo.

La fórmula general del modelo es:

$$K_e = R_f + \beta_i (R_m - R_f)$$

Donde:

K_e : Costo de capital propio de la empresa,

R_f : Tasa libre de riesgo,

β_i : Coeficiente beta del activo,

R_m : Rentabilidad esperada del mercado.

El CAPM parte de la premisa de que los inversionistas racionales buscan maximizar su retorno esperado en función del riesgo sistemático, el

cual no puede ser eliminado mediante diversificación. Según Sharpe (1964), esta prima de riesgo es proporcional al coeficiente beta, que mide la sensibilidad del activo frente al mercado. En otras palabras, cuanto mayor es el beta, mayor es el retorno exigido, ya que el inversionista está asumiendo una mayor exposición al riesgo del sistema.

La utilidad práctica del modelo CAPM radica en su capacidad para estimar una tasa de descuento ajustada al riesgo, que puede ser utilizada para valorar empresas, determinar la viabilidad financiera de proyectos, evaluar fusiones y adquisiciones, o establecer políticas de financiamiento. Damodaran (2023) considera al CAPM como el punto de partida más útil para estimar el costo de capital en la mayoría de contextos empresariales, por su simplicidad, lógica intuitiva y flexibilidad para adaptarse a distintas estructuras de capital.

No obstante, a pesar de su popularidad, el CAPM presenta limitaciones importantes cuando se aplica en países emergentes, como Bolivia. Entre sus principales debilidades se encuentran:

La dificultad para estimar un beta confiable con datos locales (ver apartado 2.3);

La ausencia de un mercado de valores amplio y líquido, que permita

definir una rentabilidad esperada del mercado nacional (R_m);

Y la necesidad de definir una tasa libre de riesgo adecuada, considerando que los bonos soberanos en economías emergentes suelen incorporar primas de riesgo país.

Ante estas restricciones, varios autores han propuesto ajustes al CAPM tradicional, como la incorporación del riesgo país (Erb, Harvey & Viskanta, 1996), el uso de betas ajustadas o la aplicación de modelos alternativos como el APT (Arbitrage Pricing Theory) o los modelos multifactoriales (Fama & French, 1993).

3.1. Relación entre beta y costo de capital

En la teoría financiera moderna, el coeficiente beta (β) y el costo de capital propio (K_e) están directamente relacionados a través del modelo de valoración de activos financieros conocido como CAPM (Capital Asset Pricing Model). Este modelo establece que el retorno exigido por un inversionista al invertir en una empresa está determinado por el nivel de riesgo sistemático que asume, medido justamente por el beta.

De acuerdo con Ross, Westerfield y Jordan (2021), el beta actúa como un multiplicador del riesgo de mercado, lo que significa que cuanto mayor sea la exposición de la empresa

al riesgo sistémico, mayor será el retorno exigido para compensar esa exposición. Por ejemplo, si la tasa libre de riesgo es del 5%, la prima de mercado del 6% y una empresa tiene un beta de 1,5, entonces su costo de capital sería:

$$K_e = 5\% + 1.5(6\%) = 14\%$$

Este resultado implica que la empresa deberá generar un retorno mínimo del 14% para ser financieramente atractiva para los inversionistas, debido a su mayor exposición al riesgo sistemático. Si, en cambio, su beta fuese 0,8, el K_e bajaría al 9,8%, lo que refleja una empresa más estable y menos riesgosa frente al mercado.

Damodaran (2023) subraya que el beta no solo influye en el cálculo del costo de capital, sino que además tiene implicaciones estratégicas: una sobreestimación del beta puede llevar a subestimar proyectos viables, mientras que una subestimación del beta puede inducir a aceptar inversiones con niveles de riesgo no compensados adecuadamente.

En mercados emergentes, donde el riesgo sistémico es elevado y difícil de medir con precisión, esta relación entre beta y K_e adquiere una importancia aún mayor. Como señala Dumrauf (2010), un cálculo inadecuado del beta puede distorsionar completamente la estimación del valor presente

neto (VPN) de un proyecto o el valor económico agregado (EVA) de una empresa.

Por lo tanto, el desafío no está en la estructura del modelo CAPM, sino en cómo se estima el coeficiente beta, especialmente cuando no se cuenta con series históricas consistentes. La metodología Beta PERT, propuesta en esta investigación, responde directamente a esta necesidad, permitiendo estimar betas realistas y personalizados a partir de rangos estimados de rendimiento. Esto no solo mejora la medición del riesgo, sino que permite calcular un costo de capital más ajustado a la realidad de empresas bolivianas y otros contextos emergentes.

3.2. Alternativas al CAPM: APT, Fama-French, betas ajustadas

Aunque el modelo CAPM ha sido históricamente el principal referente para calcular el costo de capital, diversos autores han planteado modelos alternativos que buscan superar algunas de sus limitaciones teóricas y empíricas. Entre los más reconocidos se encuentran el modelo de fijación de precios por arbitraje (APT), el modelo de tres factores de Fama y French, y las técnicas de ajuste del coeficiente beta.

El modelo APT (Arbitrage Pricing Theory), desarrollado por Ross (1976),

parte de una lógica distinta al CAPM: en lugar de asumir un único factor sistemático (el mercado), propone que los rendimientos de un activo están determinados por múltiples factores macroeconómicos. Estos pueden incluir tasas de interés, inflación, producción industrial, entre otros. Su fórmula general es:

$$R_i = R_f + b_1 F_1 + b_2 F_2 + \dots + b_n F_n$$

Donde b_1 son las sensibilidades del activo a cada factor F_1 . El APT es más flexible que el CAPM porque no requiere un portafolio de mercado observable, pero presenta dificultades prácticas: la elección y medición de los factores relevantes depende del contexto y no hay consenso universal sobre cuáles utilizar, lo que limita su aplicabilidad en mercados con escasa disponibilidad de datos, como Bolivia.

Otra alternativa es el modelo de tres factores de Fama y French (1993), el cual agrega al CAPM dos variables adicionales empíricamente comprobadas:

- El tamaño de la empresa (factor SMB: Small minus Big), y
- El valor contable sobre valor de mercado (factor HML: High minus Low).

Este modelo reconoce que empresas pequeñas y de alto valor contable relativo tienden a generar rendimientos superiores, no explicados

por el CAPM. Si bien el modelo ha sido validado en muchos mercados desarrollados, requiere bases de datos detalladas, acceso a información contable histórica y mercados amplios, lo cual no está disponible en la mayoría de los mercados emergentes.

3.3. Distribución Beta PERT: fundamentos y aplicaciones

La distribución Beta PERT es una herramienta estadística que se originó en el contexto de la gestión de proyectos, particularmente dentro del método PERT (Project Evaluation and Review Technique), desarrollado en la década de 1950 para planificar y estimar tiempos en proyectos complejos. Su fortaleza radica en permitir la estimación de variables inciertas cuando no se dispone de datos históricos, utilizando solo tres parámetros: el valor mínimo (a), el más probable (m) y el máximo (b) (Clark, 1962).

A partir de estos tres valores, se calcula la media ponderada mediante la fórmula:

$$\mu = \frac{a + 4m + b}{6}$$

y su varianza mediante:

$$\frac{(1+k)(b-a)^2 + k^2(m-a)(b-m)}{(k+2)^2(k+3)}$$

Donde:

a : Es el valor mínimo

b : Es el valor máximo

m : Es el valor probable

K : Es 4 (Establecida en la teoría clásica)

Estas expresiones permiten modelar distribuciones asimétricas y sesgadas, que son comunes en variables financieras reales. La distribución Beta PERT, al estar acotada entre un mínimo y un máximo, resulta más realista para representar comportamientos financieros que no siguen una distribución normal, especialmente cuando se trabaja con estimaciones en escenarios inciertos (Vose, 2008).

A diferencia de otras distribuciones que requieren series extensas o parámetros complejos, la Beta PERT permite incorporar juicio experto, criterios gerenciales y estimaciones fundamentadas cuando no se cuenta con información histórica confiable. Esto la convierte en una herramienta especialmente valiosa en mercados emergentes, donde la disponibilidad de datos es limitada o discontinua.

En el ámbito financiero, la distribución Beta PERT ha sido utilizada principalmente en análisis de riesgo y simulación Monte Carlo para estimar resultados esperados, tiempos de ejecución y flujos de caja. Sin embargo, su aplicación a la estimación del coeficiente beta ha sido limitada, dado que tradicionalmente solo se

ha empleado para obtener media y varianza, pero no covarianza entre variables.

La presente investigación, desarrollada por el MSc. Mario Torrico y el autor, el MSc. Juan Francisco Mercado Céspedes, propone una extensión metodológica original: el cálculo de la covarianza entre dos variables definidas por distribuciones Beta PERT. Esta innovación permite aplicar la fórmula del coeficiente beta

en entornos donde no se dispone de series de rendimiento históricas, pero donde sí es posible estimar intervalos de rendimiento esperado (mínimo, probable y máximo) tanto para la empresa como para el mercado.

La creación de la covarianza de la distribución Beta en el PERT es resultado de la necesidad de calcular el riesgo sistemático con una pequeña cantidad de datos donde la fórmula es:

$$\frac{(\sqrt{(1+k_1)}(b-a)_x + k_1 * \sqrt{(m-a)(b-m)_x})(\sqrt{(1+k_2)}(b-a)_y + k_2 * \sqrt{(m-a)(b-m)_y})}{(k_2 + 2)^2(k_2 + 3)}$$

Donde:

a : Es el valor mínimo.

b : Es el valor máximo.

m : Es el valor probable.

k_1 : De la primera variable.

k_2 : De la segunda variable.

Esta propuesta metodológica nació en Santa Cruz de la Sierra, Bolivia, en 2019, como respuesta al problema recurrente de falta de datos históricos para estimar betas en empresas locales. Tras años de desarrollo y validación, esta metodología se presenta como una solución concreta y replicable para estimar el riesgo sistemático en países emergentes, permitiendo a las empresas calcular su costo de capital de forma realista y contextualizada.

Con esta innovación, se supera la principal limitación del CAPM

tradicional en mercados emergentes: la dependencia de datos históricos y de betas internacionales que no reflejan el riesgo real de operar en entornos volátiles e incompletos. La distribución Beta PERT, adaptada al análisis financiero, ofrece una vía para democratizar el cálculo del costo de capital y dotar a empresas, inversionistas y analistas de una herramienta flexible, comprensible y técnica.

METODOLOGÍA

Enfoque y diseño metodológico

La presente investigación adopta un enfoque cuantitativo, aplicado y descriptivo, sustentado en la utilización

de herramientas estadísticas y modelos matemáticos para la estimación del riesgo financiero y el costo de capital en empresas bolivianas. El estudio se centra en el desarrollo, validación y aplicación de una nueva metodología basada en la distribución Beta PERT, la cual permite calcular el coeficiente beta en contextos donde la información financiera histórica es limitada o discontinua, como ocurre frecuentemente en los mercados emergentes.

Desde una perspectiva metodológica, el trabajo se clasifica como aplicado, ya que busca resolver un problema real: la imposibilidad de calcular de manera precisa el riesgo sistemático de las empresas bolivianas utilizando los métodos tradicionales de la teoría financiera moderna. Asimismo, es descriptivo, pues se analizan los resultados del modelo en distintos sectores de la economía nacional, evaluando su comportamiento y coherencia con la realidad del mercado local.

El enfoque es cuantitativo, dado que se basa en la recopilación de datos financieros, el cálculo de indicadores estadísticos y la construcción de modelos matemáticos para estimar las variables clave: el coeficiente beta (β) y el costo de capital (K_e). La metodología propuesta se apoya en la estadística inferencial, combinando elementos de simulación y análisis probabilístico para representar el comportamiento de las empresas bajo incertidumbre.

El diseño de investigación es de tipo no experimental y longitudinal, ya que no se manipulan las variables de manera intencional, sino que se observan y analizan tal como se presentan en la realidad, a lo largo de un periodo de cinco trimestres consecutivos. Esto permite medir la evolución del riesgo y del costo de capital de manera temporal, con base en los estados financieros publicados por las empresas que cotizan en la Bolsa Boliviana de Valores (BBV).

Finalmente, el estudio tiene un alcance exploratorio-validativo, puesto que propone y somete a prueba una metodología de estimación innovadora que amplía la aplicación de la distribución Beta PERT al ámbito financiero. El objetivo no es únicamente demostrar su aplicabilidad teórica, sino también verificar su consistencia empírica en la determinación del riesgo sistemático y del costo de capital en sectores económicos reales, contribuyendo así al fortalecimiento del análisis financiero en Bolivia y en otros países con características similares.

Fuentes de datos

La información empleada en esta investigación proviene de fuentes secundarias oficiales, específicamente de los estados financieros publicados por la Bolsa Boliviana de Valores (BBV). Estos datos constituyen la base empírica fundamental para la

aplicación del modelo Beta PERT en la estimación del coeficiente beta y del costo de capital de las empresas bolivianas.

La fuente principal corresponde al portal institucional de la Bolsa Boliviana de Valores (<https://www.bbv.com.bo>), donde se encuentran disponibles los estados financieros trimestrales de todas las empresas emisoras que participan en el mercado bursátil nacional. En este estudio se utilizaron dos tipos de documentos para cada empresa:

- Estado de Resultados Integral (ER), para determinar las variaciones en las utilidades y rendimientos.
- Balance General (BG), para identificar la evolución del patrimonio neto y calcular los indicadores de rentabilidad.

El período de análisis comprende los cinco trimestres más recientes disponibles al momento del estudio, correspondientes a los años 2024 y 2025. Este horizonte temporal fue seleccionado para obtener información actualizada, continua y comparable entre empresas, permitiendo evaluar el comportamiento del riesgo financiero en distintos sectores de la economía boliviana.

La muestra está conformada por 40 empresas que cotizan en la Bolsa Boliviana de Valores, agrupadas en siete sectores representativos:

1. Bancos y entidades financieras,
2. Seguros,
3. Oleaginosas y agroindustria,
4. Cementeras,
5. Energía eléctrica,
6. Petroleras, y
7. Retail y servicios comerciales.

Esta clasificación permite observar el comportamiento del riesgo financiero desde una perspectiva sectorial, identificando diferencias en la sensibilidad del rendimiento entre empresas de distintos rubros.

Toda la información fue recopilada manualmente desde los informes publicados por la BBV, organizándose en bases de datos elaboradas en Microsoft Excel, donde se calcularon los rendimientos contables trimestrales y las tasas de rentabilidad del patrimonio (ROE). A partir de estos datos se establecieron los valores mínimo, más probable y máximo necesarios para aplicar la distribución Beta PERT y estimar el coeficiente beta de cada empresa y sector.

Procedimiento metodológico

El procedimiento metodológico aplicado en esta investigación se centra en la determinación del coeficiente beta (β) mediante una formulación innovadora de la covarianza y varianza basada en la distribución Beta PERT, desarrollada por los autores MSc. Juan Francisco Mercado Céspedes y MSc. Mario Torrico Montaña.

Este enfoque constituye una alternativa sólida frente a los métodos tradicionales, al permitir estimar el riesgo financiero utilizando únicamente datos contables reales, sin depender de series históricas extensas ni de mercados líquidos.

El proceso metodológico se desarrolló en las siguientes etapas:

a) Selección del conjunto de empresas y definición del mercado

Se agruparon las empresas que pertenecen a un mismo sector económico, considerándose que este conjunto representa el mercado o portafolio de referencia.

Cada empresa dentro del grupo fue tratada como un activo individual, mientras que el promedio de sus resultados financieros trimestrales definió el rendimiento del mercado R_m correspondiente a dicho sector.

b) Cálculo del rendimiento contable (ROE) trimestral

Para cada empresa se calculó el Retorno sobre el Patrimonio (ROE) de forma trimestral, empleando la información obtenida de los estados financieros publicados por la Bolsa Boliviana de Valores (BBV).

Los valores resultantes permitieron construir una base de datos con cinco observaciones (trimestres), tanto para

la empresa R_i como para el mercado R_m , que posteriormente sirvieron como insumo para los cálculos de la distribución Beta PERT.

c) Determinación de los parámetros “k” de la distribución Beta PERT

El proceso de estimación inicia con la determinación de los parámetros de forma “k”, tanto para la empresa K_1 como para el mercado k_2 . Estos parámetros reflejan la asimetría de la distribución y se obtienen en función del número de datos disponibles (n), mediante las siguientes expresiones:

$$\alpha = \frac{n}{2 + n}$$

$$k_1 = \frac{2\alpha}{1 - \alpha}$$

$$\alpha_2 = 1 - \alpha$$

$$k_2 = \frac{2 * \alpha_2}{1 - \alpha_2}$$

d) Cálculo de la varianza Beta PERT

La varianza en esta distribución se determina considerando los valores mínimos (a), más probable (m) y máximo (b) obtenidos a partir de los cinco datos trimestrales del rendimiento de la empresa.

La expresión general utilizada es la siguiente:

$$\frac{(1+k)(b-a)^2 + k^2(m-a)(b-m)}{(k+2)^2(k+3)}$$

Donde:

a : Es el valor mínimo.

b : Es el valor máximo.

m : Es el valor probable.

A diferencia de la distribución normal, donde la dispersión depende del comportamiento de la media, la distribución Beta PERT se adapta mejor a contextos con valores acotados, ya que delimita el análisis dentro del rango real de resultados posibles, evitando valores extremos que no reflejan la realidad económica de empresas bolivianas.

e) Cálculo de la covarianza Beta PERT (aporte metodológico principal)

El aporte central de esta investigación se materializa en la formulación de la covarianza bajo una estructura Beta PERT, permitiendo medir la relación de dependencia entre los rendimientos de la empresa (R_i) y del mercado (R_m) sin recurrir a series de tiempo extensas.

La expresión desarrollada por los autores se presenta a continuación:

$$\frac{(\sqrt{(1+k_1)(b-a)_x} + k_1 * \sqrt{(m-a)(b-m)_x})(\sqrt{(1+k_2)(b-a)_y} + k_2 * \sqrt{(m-a)(b-m)_y})}{(k_2+2)^2(k_2+3)}$$

Donde:

a : Es el valor mínimo b : Es el valor máximo m : Es el valor probable

k_1 : De la primera variable.

k_2 : De la segunda variable.

Esta formulación permite capturar la interdependencia estadística entre la empresa y el mercado en un contexto de datos limitados, ofreciendo una herramienta adaptada a la realidad de los países emergentes.

f) Cálculo del coeficiente beta y del costo de capital

Una vez obtenidos los valores de covarianza y varianza, el coeficiente beta (β) se determina mediante la relación clásica:

$$\beta_i = \frac{Cov(R_i, R_m)}{Var(R_m)}$$

R_i : Es el rendimiento del activo o empresa,

R_m : Es el rendimiento del mercado,

$Cov(R_i, R_m)$: Es la covarianza entre ambos rendimientos,

$Var(R_m)$: Es la varianza del rendimiento del mercado

El valor obtenido de β representa la sensibilidad del rendimiento de la empresa respecto al comportamiento del mercado, reflejando su nivel de riesgo sistemático.

Costo de capital

Con el coeficiente beta calculado, se procede a estimar el costo de capital propio (K_e) utilizando la ecuación del modelo CAPM adaptado a la realidad boliviana:

La fórmula general del modelo es:

$$K_e = R_f + \beta_i (R_m - R_f)$$

K_e : Costo de capital propio de la empresa

R_f : Tasa libre de riesgo

β_i : Coeficiente beta del activo

R_m : Rentabilidad esperada del mercado

g) Resultados esperados

Este procedimiento permite obtener valores de beta y de costo de capital coherentes con la realidad financiera boliviana, reflejando de manera más precisa el nivel de riesgo

asumido por los inversionistas al operar en mercados con información imperfecta.

El modelo demuestra que es posible medir el riesgo sistemático y determinar el costo de capital únicamente a partir de datos contables reales, sin depender de supuestos extranjeros o series bursátiles inexistentes en el contexto nacional.

3.4. Presentación de los datos

Con el propósito de aplicar la metodología propuesta, se recopiló información contable de empresas que cotizan en la Bolsa Boliviana de Valores (BBV), seleccionando aquellas con una trayectoria estable y disponibilidad continua de estados financieros trimestrales durante los últimos cinco periodos.

El análisis se centró en 40 empresas bolivianas, agrupadas en siete sectores económicos representativos del mercado nacional: bancos, seguros, oleaginosas, cementeras, energía eléctrica, petroleras y retail.

Para fines de exposición, en esta sección se presenta de forma detallada únicamente el sector bancario, dado que constituye uno de los sectores más relevantes dentro del sistema financiero boliviano, y además representa un entorno donde el riesgo sistemático puede observarse con claridad.

Los demás sectores, con sus respectivas empresas y resultados intermedios, se incluyen en los Anexos, permitiendo la revisión y replicación del modelo completo.

El periodo de observación comprende los cinco trimestres más recientes (2024 – primer semestre de 2025).

De los estados financieros trimestrales de cada entidad se extrajo el Retorno sobre el Patrimonio (ROE)

A continuación, se detallan las empresas del sector bancario, junto con su clasificación y código de identificación según la Bolsa Boliviana de Valores:

Tabla 1. ROE de las empresas del sector bancario

Detalles	30/6/2025	31/3/2025	31/12/2024	30/9/2024	30/6/2024
Banco Bisa S.A.	8%	3%	18%	10%	6%
Banco de Crédito de Bolivia S.A.	5%	2%	8%	6%	4%
Banco de Desarrollo Productivo Sociedad Anónima Mixta (BDP S.A.M.)	1%	0%	3%	1%	1%
Banco Económico S.A.	9%	5%	14%	10%	5%
Banco Fortaleza S.A.	2%	1%	4%	2%	1%
Banco Ganadero S.A.	5%	3%	26%	9%	6%
Banco Mercantil Santa Cruz S.A.	1%	0%	11%	4%	2%
Banco Nacional de Bolivia S.A.	6%	1%	9%	7%	5%
Banco para el Fomento a Iniciativas Económicas S.A.	6%	3%	10%	7%	5%
Banco Prodem S.A.	6%	2%	11%	8%	6%
Banco Solidario S.A - BancoSol S.A.	6%	3%	12%	10%	7%
Banco Unión S.A.	4%	1%	10%	6%	4%

Fuente: Datos obtenidos de la BBV.

En la tabla anterior se presentan los valores del Retorno sobre el Patrimonio (ROE) correspondientes a las empresas del sector bancario registradas en la Bolsa Boliviana de Valores, abarcando un periodo de cinco trimestres entre 2024 y 2025.

A partir de estos datos, se calculó el promedio del ROE para cada periodo, lo que permitió estimar el rendimiento promedio del mercado bancario. Este valor representa el comportamiento conjunto de todas las entidades financieras incluidas en el análisis, las cuales, en su conjunto, conforman un mercado o portafolio sectorial.

Tabla 2. Rendimiento del mercado

Detalles	30/6/2025	31/3/2025	31/12/2024	30/9/2024	30/6/2024
Rendimiento de mercado	5%	2%	11%	7%	4%

Fuente: Datos obtenidos de la BBV.

De este modo, el rendimiento promedio obtenido actúa como una referencia del retorno del mercado (R_m), indispensable para el cálculo del coeficiente beta y, posteriormente, del costo de capital en el marco del modelo CAPM ajustado a la distribución Beta PERT.

En la siguiente tabla se presentan los valores mínimo, máximo y más probable, junto con el parámetro k utilizado en la aplicación de las fórmulas de varianza y covarianza bajo la distribución Beta PERT. Estos valores permitieron obtener el coeficiente beta (β) para cada empresa del sector bancario.

Tabla 3. Parametros para la aplicación de formula

Detalle	a mínimo	b máximo	m probable	k
Banco Bisa S.A.	3.29%	17.90%	8.16%	1.31
Banco de Crédito de Bolivia S.A.	2.33%	7.61%	4.09%	1.31
Banco de Desarrollo Productivo Sociedad Anónima Mixta (BDP S.A.M.)	0.24%	2.55%	1.01%	1.31
Banco Económico S.A.	4.96%	14.39%	8.11%	1.31
Banco Fortaleza S.A.	0.69%	3.65%	1.68%	1.31
Banco Ganadero S.A.	2.63%	26.21%	10.49%	1.31
Banco Mercantil Santa Cruz S.A.	0.21%	11.23%	3.88%	1.31
Banco Nacional de Bolivia S.A.	1.41%	9.44%	4.09%	1.31
Banco para el Fomento a Iniciativas Económicas S.A.	2.51%	9.80%	4.94%	1.31
Banco Prodem S.A.	2.11%	10.69%	4.97%	1.31
Banco Solidario S.A - BancoSol S.A.	3.02%	11.86%	5.97%	1.31
Banco Unión S.A.	1.26%	10.20%	4.24%	1.31

Fuente: Datos obtenidos de la BBV/Elaboración propia.



Como se puede observar, el parámetro k correspondiente a las empresas del sector se mantiene constante en 1,31, valor calculado a partir de la fórmula del parámetro α , considerando que el número de datos utilizados es cinco trimestres. Este procedimiento permite determinar un parámetro k ajustado a la cantidad real de observaciones, lo que garantiza una

estimación más precisa dentro de la distribución Beta PERT.

De manera análoga, se presenta una tabla adicional donde se muestran los valores mínimo, máximo y más probable del rendimiento del mercado (K_e), junto con su respectivo parámetro k , el cual en este caso asciende a 3,06.

Tabla 4. Parametros del mercado para aplicación de formula

Detalles	30/6/2025	31/3/2025	31/12/2024	30/9/2024	30/6/2024
Rendimiento de mercado Bancos	5%	2%	11%	7%	4%

Fuente: Datos obtenidos de la BBV/Elaboración propia.

Posteriormente, se procedió al cálculo del rendimiento promedio del mercado (R_m) para los siete sectores económicos considerados en el estudio. Este proceso tuvo como finalidad establecer una medida de referencia del retorno esperado del mercado, necesaria para el cálculo del costo de capital propio (K_e) de cada empresa.

Para ello, se utilizó el promedio de los rendimientos contables trimestrales

(ROE) de las empresas pertenecientes a cada sector, lo que permitió estimar un rendimiento representativo del comportamiento de cada grupo empresarial. De esta manera, el valor obtenido para cada sector refleja el retorno medio del mercado dentro de su rubro específico, constituyendo la base sobre la cual se aplicará el modelo CAPM ajustado con la metodología Beta PERT para determinar el costo de capital individual de cada empresa.

Tabla 5. Rendimientos del mercado de diferentes sectores

Detalle	30/6/2025	31/3/2025	31/12/2024	30/9/2024	30/6/2024	Valor promedio
Rendimiento de mercado Bancos	5%	2%	11%	7%	4%	6%
Rendimiento de mercado Seguros	9%	5%	16%	12%	10%	11%
Rendimiento de mercado Oleaginosa	9%	9%	10%	4%	5%	7%
Rendimiento de mercado Cementera	2%	0%	-1%	0%	0%	0%
Rendimiento de mercado Petrolera	1%	2%	5%	2%	0%	2%
Rendimiento de mercado Retail, distribución	5%	3%	9%	5%	3%	5%
Rendimiento de mercado Energía	4%	1%	6%	4%	3%	3%

Fuente: Datos obtenidos de la BBV/Elaboración propia.

Una vez determinado el rendimiento promedio del mercado (R_m) para cada uno de los sectores analizados, se procedió a establecer la tasa libre de riesgo (R_f), necesaria para la aplicación del modelo CAPM.

En este caso, se consideró como referencia el rendimiento anual de un bono soberano emitido por el Banco Central de Bolivia (BCB) a un plazo de un año, cuya tasa de interés asciende al 4,5% anual.

Dado que los rendimientos contables y las estimaciones del coeficiente beta fueron calculados en base trimestral, la tasa anual se convirtió a su equivalente trimestral, como se presenta en la siguiente tabla:

Tabla 6. Tasa del BCB

Detalle	Anual	Trimestral
Tasa libre de riesgo	4.50%	1.11%

Fuente: Datos obtenidos del BCB

Esta conversión garantiza la coherencia temporal entre todas las variables del modelo, asegurando que tanto la tasa libre de riesgo como los rendimientos del mercado y de las empresas estén expresados en la misma unidad de tiempo.

RESULTADOS

El análisis de la relación entre los rendimientos contables (ROE) de las entidades financieras y los coeficientes

beta (β) obtenidos mediante la nueva fórmula de covarianza aplicada en la distribución Beta PERT demuestra una correspondencia sólida con los principios teóricos del riesgo sistemático y, al mismo tiempo, valida empíricamente la efectividad de la metodología propuesta.

Como se observa en los resultados, los bancos que presentan mayores

fluctuaciones en sus rendimientos trimestrales son también aquellos que muestran coeficientes beta más elevados, lo que confirma que la nueva formulación de la covarianza dentro de la distribución Beta PERT captura con precisión la sensibilidad del rendimiento de las empresas frente al mercado, incluso con datos limitados.

Tabla 7. Coeficiente beta de las empresas

Detalle	COVARIANZA POR BETA PERT	VARIANZA BETA PERT	COEFICIENTE BETA
Banco Bisa S.A.	0.00064156	0.00033685	1.9046
Banco de Crédito de Bolivia S.A.	0.00023181	0.00033685	0.6882
Banco de Desarrollo Productivo Sociedad Anónima Mixta (BDP S.A.M.)	0.00010169	0.00033685	0.3019
Banco Económico S.A.	0.00041421	0.00033685	1.2296
Banco Fortaleza S.A.	0.00012980	0.00033685	0.3853
Banco Ganadero S.A.	0.00103539	0.00033685	3.0737
Banco Mercantil Santa Cruz S.A.	0.00048391	0.00033685	1.4366
Banco Nacional de Bolivia S.A.	0.00035283	0.00033685	1.0474
Banco para el Fomento a Iniciativas Económicas S.A.	0.00032044	0.00033685	0.9513
Banco Prodem S.A.	0.00037640	0.00033685	1.1174
Banco Solidario S.A - BancoSol S.A.	0.00038803	0.00033685	1.1519
Banco Unión S.A.	0.00039287	0.00033685	1.1663

Fuente: Datos obtenidos del BCB/Elaboración propia.

Por ejemplo, el Banco Ganadero S.A. registró un ROE máximo de 26% y una alta dispersión entre periodos, obteniendo un beta de 3.0737, el valor más alto del grupo. Este resultado refleja una elevada exposición al riesgo sistemático y una fuerte reacción a

las variaciones del mercado sectorial. En contraposición, entidades como el Banco de Desarrollo Productivo S.A.M. ($\beta = 0.3019$) y el Banco Fortaleza S.A. ($\beta = 0.3853$) muestran rendimientos bajos y estables, confirmando que la metodología reconoce correctamente

la menor volatilidad y la estabilidad financiera de estas instituciones.

Asimismo, bancos consolidados como el Banco Nacional de Bolivia S.A. ($\beta = 1.0474$) y el Banco Mercantil Santa Cruz S.A. ($\beta = 1.4366$) presentan betas cercanos a la unidad o ligeramente superiores, lo cual es coherente con su participación significativa en la intermediación financiera y su exposición moderada a las condiciones del entorno económico nacional.

De igual modo, entidades como Banco Bisa S.A. ($\beta = 1.9046$) y Banco Económico S.A. ($\beta = 1.2296$) registran valores intermedios, reflejando un riesgo sistemático moderado-alto asociado a estrategias más dinámicas en la colocación de créditos o inversión de capital.

Esta tendencia se mantiene también en instituciones orientadas al microcrédito, como Banco Prodem S.A. ($\beta = 1.1174$) y BancoSol S.A. ($\beta = 1.1519$), cuyos resultados muestran una volatilidad controlada pero aún sensible a las fluctuaciones generales del sistema financiero.

En conjunto, los resultados confirman que el coeficiente beta obtenido mediante la nueva covarianza Beta PERT responde fielmente al comportamiento real de los rendimientos observados, demostrando una relación directamente proporcional entre la

variabilidad del ROE y el nivel de riesgo sistemático.

Esto valida la capacidad del modelo para medir el riesgo financiero con precisión en entornos emergentes, donde los datos disponibles son limitados y la volatilidad es significativa.

En consecuencia, la metodología propuesta no solo reproduce los patrones teóricos del modelo CAPM, sino que los adapta a la realidad boliviana, ofreciendo una herramienta cuantitativa moderna, sólida y coherente para la toma de decisiones financieras y de inversión.

El cálculo del costo de capital propio (K_e) se realizó aplicando el modelo CAPM, utilizando los coeficientes beta obtenidos mediante la nueva fórmula de covarianza en la distribución Beta PERT, desarrollada a partir de solo cinco datos contables trimestrales por empresa.

Este enfoque permite estimar con precisión el nivel de riesgo sistemático y, en consecuencia, determinar la rentabilidad mínima que los inversionistas exigirían por invertir en cada empresa, considerando las condiciones reales del mercado boliviano.

Los resultados presentados muestran una relación directa entre el coeficiente beta y el costo de capital, tal como lo predice la teoría financiera.

Los sectores y empresas con mayor beta presentan también mayores costos de capital, lo que refleja un mayor nivel de riesgo asumido por los

inversionistas, mientras que aquellos con betas bajos exhiben costos de capital más reducidos, propios de estructuras operativas más estables.

Tabla 8. El costo de capital

NOMBRE	Tasa libre de riesgo	Coefficiente	Rendimiento del mercado	Costo de capital
Banco Mercantil Santa Cruz S.A.	1.11%	1.44	6%	7.90%
Alianza Compañía de Seguros y Reaseguros S.A.	1.11%	0.83	11%	8.95%
Sociedad Agroindustrial Nutrioi S.A.	1.11%	3.44	5%	13.38%
Fábrica Nacional de Cemento S.A.	1.11%	1.21	0.35%	0.18%
Equipo Petrolero S.A.	1.11%	4.42	2.00%	5.07%
CAMSA Industria y Comercio S.A.	1.11%	1.56	5.00%	7.16%
Gas & Electricidad S.A.	1.11%	1.18	3.48%	3.91%

Fuente: Datos obtenidos del BCB/Elaboración propia.

Por ejemplo, en el sector oleaginoso, la Sociedad Agroindustrial Nutrioi S.A. presenta un coeficiente beta de 3,44 y, en consecuencia, un costo de capital del 13,38%, el más alto de la muestra. Este resultado indica que la rentabilidad exigida a esta empresa es significativamente superior al promedio, reflejando la alta volatilidad de sus rendimientos y la sensibilidad del sector agroindustrial a factores externos como los precios internacionales de las materias primas y la estacionalidad productiva.

De manera similar, en el sector petrolero, Equipo Petrolero S.A. registra un beta de 4,42, lo que genera un costo de capital del 5,07%, resultado que, pese a una menor rentabilidad de mercado, evidencia

una elevada percepción de riesgo sistemático debido a la exposición del sector a la variabilidad de precios del crudo y a la dependencia de contratos de exploración y servicios.

Por el contrario, sectores como el energético y el cementero presentan costos de capital notablemente bajos, de 3,91% y 0,18%, respectivamente.

En el caso de Gas & Electricidad S.A. ($\beta = 1,18$), la baja dispersión de sus rendimientos sugiere un entorno financiero más estable y predecible, típico de industrias reguladas y con flujos de ingresos constantes.

En cambio, el resultado de la Fábrica Nacional de Cemento S.A. ($\beta = 1,21$; $K_e = 0,18\%$), aunque bajo en

términos absolutos, se explica por el reducido rendimiento promedio del mercado (0,35%) en el periodo analizado, lo que resalta la sensibilidad del costo de capital al entorno de rentabilidad sectorial.

El sector bancario, representado por el Banco Mercantil Santa Cruz S.A., presenta un beta de 1,44 y un costo de capital del 7,90%, reflejando una exposición moderada al riesgo sistemático y una rentabilidad esperada coherente con la estabilidad del sistema financiero boliviano.

Por su parte, el sector retail (CAMSA Industria y Comercio S.A.) con un beta de 1,56 muestra un costo de capital de 7,16%, lo que indica un perfil de riesgo similar al del sistema bancario, pero con mayor exposición a las fluctuaciones del consumo interno.

Finalmente, el sector asegurador, representado por Alianza Compañía de Seguros y Reaseguros S.A., exhibe un beta de 0,83 y un costo de capital del 8,95%. Este resultado revela una relación interesante: a pesar del menor riesgo sistemático, el alto rendimiento del mercado (11%) eleva el costo de capital exigido, lo que demuestra que el modelo captura tanto la sensibilidad al mercado como la rentabilidad esperada del entorno sectorial.

En conjunto, los resultados confirman la consistencia y aplicabilidad del modelo Beta PERT

con covarianza ajustada, al reflejar relaciones coherentes entre el riesgo, la rentabilidad y el costo de capital.

El uso de solo cinco datos contables por empresa demuestra que la nueva formulación permite obtener estimaciones confiables del riesgo sistemático, incluso en mercados emergentes con información limitada, consolidando su aporte teórico y práctico al análisis financiero moderno.

DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos en esta investigación permiten evidenciar la validez empírica y la pertinencia práctica de la nueva metodología desarrollada para el cálculo del coeficiente beta mediante la covarianza en la distribución Beta PERT.

Esta propuesta, al requerir únicamente cinco datos contables por empresa, demuestra que es posible medir el riesgo financiero con precisión en mercados emergentes, donde las limitaciones de información suelen impedir la aplicación de modelos estadísticos tradicionales basados en series históricas extensas.

En comparación con el modelo tradicional de beta obtenido por regresión lineal, el enfoque Beta PERT presenta ventajas metodológicas significativas.

Mientras que la regresión convencional depende de la existencia de un mercado bursátil líquido y continuo, la metodología propuesta trabaja con rendimientos contables reales, permitiendo estimar la relación entre los retornos de las empresas y los del mercado mediante una distribución acotada y realista.

Esto garantiza que los valores estimados se mantengan dentro de un rango posible y verificable, evitando distorsiones propias de la volatilidad extrema o de la ausencia de datos representativos.

Asimismo, los resultados sectoriales obtenidos muestran una consistencia teórica sólida: los sectores y empresas con mayor variabilidad en sus rendimientos presentan betas más altos, lo cual se traduce en mayores costos de capital exigidos por los inversionistas, tal como predice el modelo CAPM.

En cambio, sectores con rendimientos más estables y previsibles reflejan betas cercanos a la unidad o inferiores, evidenciando menor riesgo sistemático y estructuras financieras más resilientes.

El estudio también resalta la adaptabilidad del modelo Beta PERT a distintos sectores económicos, ya que la relación entre riesgo y rentabilidad se comportó de manera coherente tanto en sectores financieros como industriales y energéticos.

Esto demuestra que la metodología no solo es válida para contextos bursátiles, sino que puede ser aplicada con éxito en empresas no cotizantes o en mercados donde la información financiera es parcial o irregular.

Finalmente, la comparación entre los sectores permite observar que la magnitud del coeficiente beta y del costo de capital no depende exclusivamente del rendimiento del mercado, sino también de la estructura operativa y del perfil de riesgo de cada industria, factores que la distribución Beta PERT logra reflejar de manera efectiva.

En consecuencia, esta metodología se presenta como una alternativa robusta, adaptable y conceptualmente sólida frente a las limitaciones de los modelos clásicos, aportando una nueva perspectiva cuantitativa al análisis del riesgo financiero en economías emergentes.

CONCLUSIONES

La presente investigación demuestra que es posible calcular de manera precisa y coherente el coeficiente beta y el costo de capital en mercados emergentes, utilizando una nueva formulación de la covarianza dentro de la distribución Beta PERT, desarrollada en Santa Cruz de la Sierra, Bolivia.

Los resultados obtenidos evidencian que la metodología propuesta:

- Permite estimar el riesgo sistemático con información limitada, empleando solo cinco observaciones contables, sin necesidad de series bursátiles históricas.
- Mantiene coherencia teórica con el modelo CAPM, reproduciendo la relación directa entre riesgo, rentabilidad esperada y costo de capital.
- Se adapta a distintos sectores económicos, reflejando con precisión la estructura de riesgo particular de cada industria.
- Contribuye a la realidad boliviana y latinoamericana, ofreciendo una herramienta propia para calcular el costo de capital basada en datos locales y no en parámetros internacionales.

La metodología desarrollada por los investigadores MSc. Juan Francisco Mercado Céspedes y MSc. Mario Torrico Montañó constituye un avance relevante en la teoría financiera aplicada a economías emergentes, al brindar una solución matemática y práctica al problema de la falta de datos históricos y de mercados líquidos.

Su implementación permite a empresarios, analistas e inversionistas tomar decisiones más informadas, evaluando el riesgo y el rendimiento con base en información contable real y actualizada.

En términos más amplios, este estudio posiciona a Bolivia y particularmente a Santa Cruz de la Sierra como referente regional en innovación financiera aplicada, al desarrollar un modelo capaz de estimar el riesgo sistemático y el costo de capital en contextos de información limitada.

Este aporte no solo fortalece el análisis financiero nacional, sino que sienta las bases para que otros países con características similares adopten y validen la metodología Beta PERT como una alternativa moderna, adaptable y precisa para la medición del riesgo financiero en economías emergentes.

BIBLIOGRAFÍA

- Berk, J., & Demarzo, P. (2008). *Finanzas corporativas*. Mexico: PEARSON.
- Bradfield, D. (2003). Conceptos básicos de inversión XLVI. Sobre la estimación del coeficiente beta. *Revista de analistas de inversiones*, 32 (57), 47-53.



- Cespedes, J., & Montaña, M. (2025). Nueva fórmula de covarianza de la distribución Beta en el Pert para el cálculo del coeficiente beta en países emergentes. *Emergentes-Revista Científica*, 5 (1), 20-33.
- Damodaran, A. (2023). *Applied Corporate Finance*. (5th ed.). Wiley.
- Damodaran, A. (2023). *Finanzas corporativas aplicadas*. Wiley.
- Dumrauf, G. L. (2010). *Finanzas corporativas: un enfoque latinoamericano*. Buenos Aires: Alfaomega Grupo Editor Argentino.
- Eisenbeiß, M. K. (2007). Estimación de los coeficientes beta de los datos bursátiles alemanes: un enfoque no paramétrico. *The European Journal of Finance*, 13 (6), 503-522.
- Farnum, N. R. (1987). "Algunos resultados sobre la estimación de los parámetros de distribución beta en PERT. *Revista de la Sociedad de Investigación Operativa*, 287-290.
- Farnum, N. R. (1987). Some results concerning the estimation of beta distribution parameters in PERT. *Journal of the Operational Research Society*, 287-290.
- Gençay, R. F. (2003). Riesgo sistemático y escalas de tiempo. *Finanzas cuantitativas*, 3: 2, 108-116.
- Gitman, L. J. (2021). *Principios de finanzas gerenciales*. Mexico: Pearson Educacion .
- Golenko-Ginzburg, D. (1988). On the distribution of activity time in PERT. *Journal of the Operational Research Society*, 39, 767-771.
- Koller, T. G. (2015). Valoración: Medición y Gestión del Valor de las Empresas. *McKinsey & Company, Inc.*
- McBride, W. J. (1967). PERT y la distribución beta. *Transacciones IEEE sobre gestión de ingeniería*, 166-169.
- Mercado, J. F. (2025). Nueva fórmula de covarianza de la distribución Beta en el Pert para el cálculo del coeficiente beta en países emergentes. *Revista emergentes*, 20.
- Michael, C. E., & Eugene, F. B. (2006). *Finanzas corporativas*. Mexico: Cengage Learning Editores, S.A.
- Ross, S. A. (2021). *Fundamentos de finanzas corporativas*. Mexico: McGraw-Hill.