El costo del capital en las empresas colombianas[1]

Santiago Herrera A.[2]
Humberto Mora A.[3]

I. INTRODUCCION

El costo del capital de una empresa es el rendimiento mínimo requerido sobre un proyecto de inversión de tal forma que el valor de la misma aumente si se ejecuta el proyecto. El financiamiento de la inversión se realiza con recursos escasos provenientes de distintas fuentes, siendo las dos principales la deuda y el capital. Las características de estos instrumentos reflejan preferencias de determinados agentes por distintos tipos de riesgo: los accionistas comprometen su capital y entran de último en la lista de acreedores de la empresa en caso de una eventual quiebra, mientras que los poseedores de títulos de deuda de la empresa tienen una baja probabilidad de perder el capital invertido. Así, el costo de capital de una empresa viene dado por el costo de oportunidad de los financiadores de la entidad que tienen la opción de financiar empresas o proyectos alternativos de riesgo equivalente. En consecuencia, una empresa no puede tomar la decisión de invertir sin tener un buen estimativo de su costo de capital, ya que solo si el rendimiento esperado del proyecto supera este nivel aumentará el valor esperado de la compañía.

De otra parte, hay que tener en mente que los proyectos tienen riesgos distintos por lo que el rendimiento de cada uno debe ser ajustado por el nivel o categoría de riesgo, para poder escoger entre proyectos alternativos. Por esta razón, para una empresa que tiene distintas divisiones o líneas de negocio es crucial conocer los distintos costos de oportunidad para ver cómo asigna los recursos al interior de la corporación.

[1] Esta es una versión reducida de un trabajo elaborado para la Superintendencia Nacional de Valores. Los autores agradecen la eficiente y cuidadosa labor que realizaron Nancy Lozano y María Pía Malabet en la recolección y procesamiento de la información básica utilizada en el trabajo. Así mismo, agradecen los comentarios de Constanza Blanco y Fabio Chacón, de la Superintendencia Nacional de Valores, a versiones preliminares de este trabajo, a la vez que los comentarios recibidos de los participantes en los seminarios de Fedesarrollo y del Banco de la República

[2] Investigador del Banco Mundial.

[3] Investigador Asociado de Fedesarrollo.

Por todo lo anterior, resulta evidente la importancia de conocer el costo de capital de las empresas o de sus distintas líneas de negocio. El objetivo de este trabajo es realizar estimativos del costo del capital de las empresas en Colombia. Igualmente se busca hacer una presentación detallada de algunas metodologías, de tal manera que los procedimientos se puedan replicar para alguna empresa o proyecto específicos.

Para esta tarea emplearemos diversas metodologías. En primer término se estimarán los coeficientes de riesgo (betas) y las primas de riesgo por sectores económicos, con base en los modelos del CAPM (*Capital Asset Pricing Model*) y el APT (*Arbitrage Pricing Theory*), replicando los procedimientos empleados en un trabajo anterior para el caso de una empresa petrolera (Mora, 1996). En segunda instancia, se utilizará la metodología de similares, o "pure play", apropiada cuando no existe un mercado efectivo para los activos que se desean valorar o cuyo rendimiento se desea conocer. En tercer lugar se medirá el costo del capital siguiendo la metodología de Hsia(1991), basada en valorar el capital de una empresa apalancada en forma análoga a una opción de compra sobre los activos de la empresa. En el trabajo original también se examinó, en dos capítulos adicionales, el impacto de la estructura tributaria colombiana sobre el costo del capital sectorial y se presentaron estimaciones sobre los determinantes de la estructura de capital de las empresas colombianas. Infortunadamente, por motivos de restricción de espacio esos resultados no pudieron incluírse en esta publicación.

En este orden de ideas, el documento se divide en dos capítulos. El primero describe las metodologías empleadas para estimar el costo del capital. El segundo presenta la aplicación y los resultados. Finalmente se resumen las conclusiones e implicaciones para la política económica.

II. METODOLOGIAS DE ESTIMACION DEL COSTO DEL CAPITAL

Este capítulo presenta tres metodologías alternativas para el cálculo del costo del capital en las empresas colombianas: la estimación de los coeficientes de riesgo y de las primas de riesgo en los modelos CAPM y APT, para obtener el costo del capital accionario; la del método de similares (*Pure play*); y la de valorar la empresa como una opción de compra (*Option pricing mechanism*).

Las dos últimas metodologías ayudan a obviar las limitaciones derivadas de la ausencia de mercados para los activos que se pretenden valorar, así como de su funcionamiento imperfecto. Estos dos enfoques tienen la virtud de no requerir volúmenes grandes de información histórica o de proyecciones de ciertos agregados, a diferencia del primero. De los dos, el método de similares es el más comúnmente utilizado y el más sencillo desde el punto de vista de manipulación técnica.

Comenzamos por la exposición de los modelos CAPM y APT y después procederemos a presentar las otras dos metodologías.

A. El costo del capital accionario en los modelos CAPM y APT

En esta sección se presentarán dos modelos alternativos para obtener el costo del capital accionario de una muestra de sectores económicos de la economía colombiana, a saber: el CAPM y el APT. Estos modelos serán estimados econométricamente para el mercado de capitales colombiano y los resultados se mostrarán en el siguiente capítulo.

1. *Modelo CAPM*

Este modelo postula que en condiciones de mercados de capitales perfectamente competitivos, el rendimiento esperado de un activo es una función creciente del nivel de riesgo del mismo, pues un inversionista solo aceptará incluir activos riesgosos en su portafolio si el mercado le compensa por el riesgo adicional en que incurra:

$$E\,[R_i] = R_f + \beta_i\,[E\,(R_M) - R_f] \qquad (1)$$

donde $E[R_i]$ es el retorno esperado del activo *i-ésimo* o, lo que es lo mismo, el costo del capital accionario para la firma *i-ésima*; R_f es el retorno del activo libre de riesgo en la economía; $E[R_M]$ es el retorno esperado del portafolio del mercado; y el coeficiente beta mide el riesgo no diversificable del activo. Según este enfoque, solamente el riesgo no diversificable, es decir el riesgo sistemático que afecta a toda la economía, se debe remunerar. El riesgo proveniente de otras fuentes específicas a la compañía o al activo, se puede diversificar mediante la composición del portafolio. Según la ecuación anterior, dado un valor del retorno del activo libre de riesgo y de la prima de riesgo que reconoce el mercado a los activos riesgosos (la cual corresponde a $[E[R_M] - R_f]$), el rendimiento esperado del activo deberá ser mayor, cuanto mayor sea su nivel de riesgo.

Para la verificación empírica de este modelo se requiere, en primer lugar, obtener estimativos del coeficiente beta para cada uno de los activos del mercado, a partir de la siguiente ecuación[4]:

$$R_{i,t} - R_{f,t} = \beta_i\,[R_{M,t} - R_{f,t}] + \varepsilon_{i,t} \qquad (2)$$

donde el subíndice t denota el tiempo y $\varepsilon_{i,t}$ es una variable aleatoria independiente e idénticamente distribuida a lo largo del tiempo, con media cero y varianza $\sigma^2_{\varepsilon i}$, para todo activo *i-ésimo*.

En segundo lugar, el modelo postula que el valor esperado del retorno del activo *i-ésimo*, condicional a su nivel de riesgo, es igual a:

$$E\,[R_{i,t}] = R_{f,t} + \gamma_t\,(\beta_i) \qquad (3)$$

donde γ es la prima de riesgo en el período *t-ésimo*. Por lo tanto, para poder obtener estimativos de la prima de riesgo, es preciso estimar econométricamente la siguiente ecuación:

$$R_{i,t} - R_{f,t} = \gamma_t\,(\beta_i) + \nu_{i,t} \qquad (4)$$

donde ν es una variable aleatoria independiente e idénticamente distribuida a lo largo del tiempo, con media cero y varianza σ^2_{vi}.

Una vez estimados los valores de los parámetros en (2) y en (4), el valor esperado del costo del capital accionario para la empresa o activo *i-ésimo* en este modelo está dado por:

$$E\,[R_{i,t}] = R_{f,t} + \hat{\gamma}_t\,(\hat{\beta}_i) \qquad (5)$$

Las principales deficiencias de este modelo, las cuales han sido identificadas a partir de estimaciones empíricas para mercados de capitales desarrollados son: la tendencia a sobrestimar la tasa libre de riesgo; la sobrestimación de la tasa de retorno de los activos con coeficiente beta mayor que uno; la subestimación del retorno de los activos con coeficiente beta menor que uno; y la debilidad de la correlación entre la tasa de retorno del activo y el coeficiente de riesgo, cuando se incluyen en la regresión variables adicionales a la tasa de retorno del mercado. Estas deficiencias se traducen en un poder expli-

[4] Esta ecuación, incluyendo una constante, corresponde a la estimada por Fama-French(1997).

cativo del modelo comparativamente menor al de otros modelos, tales como el APT (véase Fama(1991)).

2. *Modelo APT*

En este modelo se consideran fuentes de riesgo sistemático, no diversificables, adicionales a las del rendimiento del mercado como un todo. No obstante, esas fuentes adicionales de riesgo sistemático no son identificables nítidamente a partir de la teoría económica o financiera. Existen, por lo tanto, diferentes versiones de la especificación del modelo, dependiendo, en últimas, de cuál de ellas arroja los mejores resultados empíricos, en términos de su capacidad para reproducir el comportamiento de las tasas de retorno de los activos.

Al respecto, en el caso de mercados donde una parte de los agentes está sujeto a restricciones de liquidez, en Mora(1996) se desarrolla una especificación fundamentada en la teoría económica del consumo. No obstante, la estimación de ese modelo requiere de la utilización de información macroeconómica que no se encuentra disponible con la periodicidad que se requiere para los propósitos de este trabajo.

La especificación que aquí se adoptará del modelo APT es la formulada por Fama y French (1993;1997) y tiene un fundamento puramente empírico, pues como lo explican estos autores, su virtud radica en capturar algunos fenómenos empíricos que causan problemas en el modelo CAPM; y no en el fundamento conceptual del mismo. Según esta formulación, el retorno del activo *i-ésimo* se comporta según la siguiente ecuación:

$$R_{i,t} - R_{f,t} = \beta_i [R_{M,t} - R_{f,t}] + P_i (PMG_t) + A_i (AMB_t) + \varepsilon_{i,t} \quad (6)$$

donde, en comparación con la ecuación (2) (modelo CAPM), se han incluido dos fuentes adicionales de riesgo no diversificable, a saber: a) la diferencia entre la tasa de retorno de los activos que tienen una participación pequeña en el mercado y la tasa de retorno de los activos que tienen una participación grande[5]. En cada momento del tiempo, t, esta diferencia se denota por la variable PMG_t. b) la diferencia entre la tasa de retorno de las acciones emitidas por empresas para las cuales la relación entre el valor del patrimonio en el balance y el valor de mercado de las acciones emitidas es alta; y la tasa de retorno de las acciones para las cuales esta relación es baja[6].

En mercados desarrollados la relación entre esas dos variables adicionales y la tasa de retorno de un activo es positiva; y captura algunas de las regularidades identificadas en el mercado que no son explicadas por el modelo CAPM.

Al igual que en el caso del modelo CAPM, una vez obtenidos los coeficientes de riesgo a partir de la ecuación (6), se procederá a estimar las primas de riesgo, o el precio de mercado de cada fuente de riesgo. Con este propósito se estimará la siguiente ecuación:

$$R_{i,t} - R_{f,t} = \gamma_{1,t} (\beta_i) + \gamma_{2,t} (P_i) + \gamma_{3,t} (A_i) + \nu_{i,t} \quad (7)$$

donde ν es una variable aleatoria independiente e idénticamente distribuida a lo largo del tiempo, con media cero y varianza σ^2_{vi}.

En este modelo, el valor esperado del costo del capital accionario para la empresa o activo i-ésimo está dado por:

---

[5] En la sección de resultados, más adelante, se define qué se entiende por participación pequeña y por grande.

[6] En la sección de resultados, más adelante, se define qué se entiende por una relación alta y por una relación baja.

$$E[R_{i,t}] = R_{f,t} + \hat{\gamma}_{1,t}(\hat{\beta}_i) + \hat{\gamma}_{2,t}(\hat{P}_i) + \hat{\gamma}_{3,t}(\hat{A}_i) \qquad (8)$$

B. Método de similares

Este enfoque se utiliza cuando no se transa en el mercado el activo que se pretende valorar o cuyo riesgo y rendimiento esperado de equilibrio se quiere conocer. Sin embargo, existen activos o compañías en líneas de negocio similares que se negocian efectivamente en el mercado. La idea es que, observando el rendimiento requerido de equilibrio de esos activos, se puede aproximar el retorno requerido (costo del capital accionario) del activo cuyo *riesgo* queremos evaluar.

Este método supone que el beta de un activo transado en el mercado es un estadístico suficiente para calcular su rendimiento requerido de equilibrio. El beta se deriva de un modelo tradicional de CAPM (*Capital Asset Pricing Model*), el cual ya se presentó en la sección anterior.

Así, se puede obtener el beta de los activos transados en el mercado y puesto que son similares al activo no transado, se supone que éste tiene la misma sensibilidad que aquellos ante las fuentes de riesgo no diversificable. Varios puntos deben contemplarse para una mejor interpretación de los resultados:

- La actividad económica de las empresas o sectores de los cuales se toman los betas deben corresponder al objeto social de los sectores a los cuales se aplican. En algunas ocasiones las empresas se dedican a actividades diferentes a su objeto social, razón por la cual puede violarse este principio básico.

- Selección de la muestra. Habrá alguna variabilidad en los resultados por lo que se debe trabajar con intervalos de confianza. Además, si la mediana y la media de las tasas de retorno difieren, se recomienda trabajar con la primera (Fuller y Kerr, 1981) para obviar la influencia de datos atípicos.

- Los betas pueden cambiar a través del tiempo, como se mostró en la sección anterior para el caso de una muestra de empresas del mercado de capitales colombiano. La naturaleza estadística del proceso que genera la serie ha dado lugar a un amplio debate en la literatura de finanzas aplicadas (Gombola y Kahl, 1990). Si se trata de un proceso estacionario, es decir la serie oscila alrededor de una media constante, es importante utilizar este valor para proyecciones de largo plazo. En cambio si se encuentra que el proceso generador de betas es no estacionario, la mejor proyección será el valor más recientemente observado. Un estudio reciente elaborado por dos de los pioneros en la teoría moderna de las finanzas (Fama y French, 1997) encontró cambios significativos en los betas según se utilizara información de varias décadas o sólo de los últimos cinco años. Los cambios no eran uniformes ya que en unos sectores el coeficiente beta bajaba y en otros subía. Por ejemplo, en la industria petrolera éste bajó de 0,85 a 0,63; en minería pasó de 0,98 a 0,66. En otras industrias como la cervecera aumentó, así como en la de vestuario e intermediación financiera.

- El coeficiente obtenido proviene de una industria con una estructura de capital determinada. Se ha encontrado que las empresas más endeudadas tienen mayores betas, lo que implica que si la compañía (o el activo o el sector o el proyecto) en cuestión tiene una composición de deuda a patrimonio muy diferente de la del promedio de la industria, el beta debe ajustarse para incorporar esta diferencia en las estructuras de capital[7].

Las implicaciones del modelo teórico utilizado sobre el costo del capital son las siguientes: Un mayor

beta se traduce en un mayor costo del capital para la empresa, pues implica un mayor nivel de riesgo y, por lo tanto, una mayor tasa de retorno esperada por el inversionista. De otra parte, un mayor apalancamiento tiene dos efectos contrapuestos sobre el costo del capital. En primer lugar, en la medida que haya beneficios tributarios derivados del mayor endeudamiento, el costo del capital se reduce. En segundo lugar, el mayor apalancamiento tiene un efecto positivo sobre el costo del capital, ya que diversos estudios han encontrado que el coeficiente beta de una empresa está positivamente relacionado con su nivel de apalancamiento (Hill y Stone, 1980; Mandelker y Rhee, 1984). En el último capítulo se presentan formas de cuantificación de estos efectos contrapuestos.

C. Método de calcular el costo del capital con la fórmula de precios de una opción

En su trabajo clásico de precios de opciones, Black y Scholes (1973) sugirieron la idea de que poseer la acción de una empresa apalancada era equivalente a tener una opción de compra de los activos de la empresa. Dicha intuición se deriva del hecho de que, en el momento de vencimiento de la deuda, el dueño de la empresa tiene la opción de no pagarla, en cuyo caso se liquida la compañía y el acreedor se queda con ella. Por el contrario, si paga el valor nominal de la deuda, el accionista se queda con su empresa, como si estuviera comprando los activos de la misma.

De esta manera, si en el momento de vencimiento de la obligación financiera el valor de la empresa (V) es mayor que la deuda (B), resulta razonable, económicamente, que se pague la deuda. Es decir, el accionista hará uso de la opción de compra. Por el contrario, si V < B, el accionista encontrará más rentable ceder su derecho a usar la opción de compra. Es clara la analogía con una opción de compra (call option), con período de vencimiento (T) igual al plazo de vencimiento de la deuda, y con precio de ejercicio (strike price) igual al valor nominal de la deuda.

Posteriormente, Hsia (1981, 1991) y Copeland y Weston (1988, Cap.13) continuaron desarrollando esta idea para integrarla más al área de las finanzas corporativas y para darle mayores posibilidades de uso práctico. Lo que sigue es un resumen de estos trabajos que finalmente nos llevará a las expresiones que nos permitirán estimar el costo del capital.

Empezamos por recordar que el precio de una opción de compra (call) es función, entre otras cosas, del precio del activo sobre el cual se ha emitido la opción. En el caso familiar de una opción de compra de una acción, resulta que la dinámica de su precio está determinada por la evolución del precio de la acción.

Es común suponer que el precio de los activos, en este caso el precio de una acción (P), presenta un comportamiento descrito por un movimiento Browniano geométrico de la siguiente naturaleza:

$$\frac{dP}{P} = \mu dt + \sigma dz \qquad (9)$$

donde:

μ = tasa esperada de rendimiento, captura el elemento de tendencia determinístico.

---

[7] La expresión que relaciona los betas apalancados y desapalancados es:

$$B_L = B_U \left[1 + (1 - G)\frac{B}{S}\right]$$

donde B_L = Beta apalancado
B_U = Beta desapalancado
B = Deuda
S = Patrimonio

$$G = \left(1 - \frac{(1 - T_c)(1 - T_{ie})}{1 - T_{id}}\right)$$

Véase Copeland y Weston (1988) pg. 457.

σ = desviación estándar de la tasa de rendimiento esperado
dt = incremento en el tiempo
dz = incremento de z(t) que es un proceso Wiener[8].

Si la dinámica del precio de la acción está descrita mediante la anterior ecuación, la evolución del precio del *call* (c) viene dada por[9]:

$$dc = \frac{\partial c}{\partial P} dP + \frac{\partial c}{\partial P} dt + \frac{1}{2} \frac{\partial^2 c}{\partial P^2} \sigma^2 p^2 dt \qquad (10)$$

En el caso que nos interesa explorar de la empresa apalancada y la analogía de Black Scholes, la acción representa la opción escrita sobre el valor de la compañía o sus activos. Así, el precio de la opción es ahora el precio de la acción (la opción ahora es el capital accionario y el activo subyacente, sobre el que se emite la opción es el valor total de la compañía, V, que es igual al valor de los activos) por lo que (10) quedaría así:

$$dS = \frac{\partial S}{\partial V} dS + \frac{\partial S}{\partial t} dt + \frac{1}{2} \frac{\partial^2 S}{\partial V^2} \sigma^2 V^2 dt \qquad (11)$$

En el límite, a medida que dt tiende a cero ($dt = 0$), dividiendo ambos lados de (11) entre S y multiplicando numerador y denominador por dV, resulta la siguiente expresión:

$$\lim_{t \to 0} \frac{dS}{S} = \frac{\partial S}{\partial V} \frac{dV}{V} \frac{V}{S} \qquad (12)$$

Puesto que $\frac{dS}{S}$ es el rendimiento de la acción, r_S, y $\frac{dV}{V}$ es el rendimiento de los activos totales de la empresa r_V, la ecuación anterior se puede escribir así:

$$r_S = \frac{\partial S}{\partial V} r_V \frac{V}{S} \qquad (13)$$

La ecuación (13) es el rendimiento esperado de la acción, por lo que representa el costo del capital accionario. Para continuar el proceso de simplificación, necesitamos encontrar $\frac{\partial S}{\partial V}$, el cual se deducirá de la fórmula Black-Scholes de precios de un call. El precio del *call*, que en este caso es el precio de la acción, depende del precio del activo sobre el cual está escrita la opción, que en este caso es el valor total de la empresa *V*. Por lo tanto, la fórmula del precio sería:

$$S = VN(d_1) - Xe^{-rT} N(d_2) \qquad (14)$$

donde:

V = valor de la empresa.
X = Valor nominal de la deuda al vencimiento.
$N(.)$ = Valor de la distribución normal estándar. acumulada hasta d_1 o d_2
d_1 = $\{[\ln (V/X) + rT] + rT] + (1/2) \sigma \sqrt{T}$
d_2 = $d_1 - \sigma \sqrt{T}$
σ = Desviación estándar de la tasa de rendimiento de la empresa.
T = Tiempo hasta el vencimiento de la opción.
r = Tasa de descuento en el tiempo.

De la expresión (14) se obtiene:

$$\frac{\partial S}{\partial V} = N(d_1) \qquad (15)$$

De otra parte, utilizando el resultado central del CAPM obtendremos una expresión para r_V y para r_S. De acuerdo con el CAPM, en equilibrio, el rendimiento esperado de un activo es igual a la tasa

[8] Un proceso Wiener tiene tres propiedades. Primero, es un proceso de tipo Markov, lo que significa que la distribución probabilística de *z(t+1)* depende únicamente de *z(t)*. Segunda, los incrementos del proceso Wiener, *dz*, son independientes. Y tercera, los incrementos en z están distribuídos normalmente, con una varianza que aumenta linealmente en el tiempo. Así, si *z(t)* es un proceso Wiener, $\Delta z = \varepsilon_t \sqrt{dt}$, en el límite a medida que Δt tiende a cero, resulta $dz = \varepsilon \sqrt{dt}$, con $E(dz)=0$ y $Var(dz)=dt$.

[9] Se utilizan herramientas del cálculo estocástico y el Lemma de Ito para derivar la siguiente expresión. Este detalle se omite aquí, pero se remite al lector a Nefcti (1996) o a Dixit y Pindyck (1994) como referencias muy legibles sobre este tema.

libre de riesgo (r_f) más la prima de riesgo del mercado (R_m-r_f) multiplicada por el beta del activo (β_j). Lo anterior se expresa en la ecuación (16):

$$E(r_j) = r_f + (R_m - r_f)\,\beta_j \qquad (16)$$

De (16) se obtienen expresiones para r_V y r_S, que junto con (15) se remplazan en (13) obteniendo:

$$r_S = r_f + N(d_1)\,(r_V - r_f)\,V/S \qquad (17)$$

Esta ecuación después de alguna manipulación algebráica[10] resulta en :

$$r_S = r_f + (r_b - r_f)\,\frac{B}{S}\,\frac{N(d_1)}{N(-d_1)} \qquad (18)$$

donde r_b es el costo de la deuda.

Para poder aplicar la anterior expresión, falta estimar el parámetro d_1, para lo cual se seguirán las recomendaciones de Hsia (1991). Son tres las incógnitas centrales: *T*, que es el tiempo hasta el vencimiento de la opción; *X*, el valor nominal de la deuda al vencimiento; y σ que es la volatilidad. El artículo original de Hsia está basado en el mecanismo más simple de opciones europeas (no hay ejercicio de la opción antes de su período de vencimiento y no se distribuyen dividendos), lo que implica suponer que la deuda no se prepaga y que ésta es cero-cupón. Con base en otra serie de supuestos restrictivos[11] Hsia llega a que $T=B/A$, donde *B* es el valor de mercado de la deuda cero cupón y *A* es el valor anual de los pagos de intereses. *B* se calcula a partir de X[12]. Y la volatilidad, que es la tarea más compleja, se estima endógenamente de la siguiente manera: puesto que $V= S+B$, la ecuación 14 se transforma en :

$$S = (S + B)\,N(d_1) - Bee^{-rT}\,N(d_2) \qquad (14A)$$
$$= SN(d_1) + B\,[N(d_1) - e^{(1-rT)}\,N(d_2)]$$

Puesto que $T=B/A$, resulta una función implícita *f* de la cual se deriva endógenamente el valor de sigma cuando:

$$f(A, B, r, \sigma,) = 0, \text{ es decir:} \qquad (19)$$

$$f(\ldots) = \frac{B}{S} - \frac{N(-d_1)}{N(d_1) - \exp[(1/A)\,(A - rB)]\,N(d_2)} \qquad (19A)$$

$$\text{con } d_\perp = \frac{\ln(1 + S/B) + (1/A)\,(rB - A)}{\sigma\sqrt{B/A}} + (1/2)\,(\sigma\sqrt{B/A})$$

$$d_2 = d_1 - \sigma\sqrt{B/A}$$

En resumen, con base en lo expuesto en Copeland y Weston (1988, Cap. 13) y Hsia (1991), las tres expresiones que resultan para la aplicación práctica son:

$$\text{Costo de la deuda } \quad i = A/B \qquad (20A)$$

---

[10] $r_S = r_f + N(d_1)\,(r_V - r_f)\,V/S$

$r_S = r_f + N(d_1)\,[(B/V\,r_b + S/V\,r_S) - r_f]\,V/S$

$= r_f + N(d_1)\,(B/S\,r_b + r_S - r_f\,V/S)$

$= r_f\,(1 - N(d_1)\,V/S) + N(d_1)\,r_S + N(d_1)\,B/S\,r_b$

$= r_f\,[(S - N(d_1)\,B - N(d_1)\,S)/S] + N(d_1)\,r_S + N(d_1)\,B/S\,r_b$

$= r_f\,[S\,(1 - N(d_1))/S - N(d_1)\,B/S]\,r_S + N(d_1)\,B/S\,r_b$

$r_S\,(1-N(d_1)) = r_f\,(1-N(d_1)) - r_f\,N(d_1)\,B/S + N(d_1)\,r_S + N(d_1)\,B/S\,r_b$

$r_S = r_f + [N(d_1)\,B\,(r_b - r_f)/(1 - N(d_1)\,S]$

[11] Hsia supone que existe un nivel "permanente" de endeudamiento ya que una parte importante de la deuda vigente en cada período se renueva. Supone que hay un "roll-over" de la deuda. Por esta razón , se puede asimilar el valor corriente de la deuda a una perpetuidad, con valor de mercado *B* y que paga un valor una anualidad de *A*, equivalente al pago anual observado de intereses. Esta perpetuidad la aproxima Hsia a un bono cero-cupón de la misma duración.

[12] Conceptualmente, $B= Xe^{-it}$ Pero *t* es la duración de un bono cero-cupón, que es igual a su vencimiento, que a su vez es igual a 1/i. Por lo tanto, $B=Xe^{-1}$. Así queda determinado *B*.

Costo del capital accionario *(20B)*

$$r_S = r_f + (A/B - r_f)\,\frac{B}{S}\,\frac{N(d_1)}{N(-d_1)}$$

Costo del capital de la empresa *(20C)*

$$r_f + (A/B - r_f)\,\frac{B}{S+B}\,\frac{1}{N(-d_1)}$$

III. APLICACION DE LAS METODOLOGIAS Y RESULTADOS

Este capítulo presenta la aplicación de los métodos de estimación del costo del capital descritos en el capítulo anterior. En la primera sección se exponen los resultados de las estimaciones del costo del capital accionario, según los modelos CAPM y APT. En la segunda sección se presentan los resultados de la metodología del "pure play" y distintas variantes del mismo según la fuente de donde se tomen los betas. En la tercera sección se resume la aplicación del método de fijación de precios de opciones. Finalmente, en la cuarta sección se comparan los resultados de las diferentes metodologías para una submuestra de sectores.

A. Estimación de los coeficientes de riesgo y de las primas de riesgo

En esta sección se presentan los resultados de estimar los modelos CAPM y APT que se presentaron en el primer capítulo, para obtener el costo del capital accionario de una muestra de sectores de la economía colombiana. Antes de ellos se hace una descripción de los datos utilizados.

1. Información básica utilizada

Como ya ha sido mencionado en otros lugares (véase, por ejemplo, Mora(1996)), el número de empresas sobre las cuales es posible obtener información en el país de precios de las acciones en el mercado y de los dividendos causados se reduce significativamente a medida que se intenta cubrir períodos largos de tiempo. Por este motivo y teniendo en cuenta que el propósito principal de este trabajo es obtener estimativos del costo del capital para el mayor número posible de sectores de actividad económica, se decidió restringir la muestra al período 1992.01 a 1997.12, período éste para el cual el mercado de capitales colombiano experimentó un gran dinamismo, así como un grado de integración a los mercados internacionales mucho mayor que en el pasado.

Debe señalarse, sinembargo, que si bien esta característica del mercado ciertamente permite ampliar la cobertura de la muestra a un mayor número de empresas, las características de riesgo de un mercado dinámico e integrado a la economía mundial, como el que aquí se considera, son distintas a las de un mercado poco activo y cerrado, como lo fue el mercado de capitales colombiano con anterioridad a 1992, cuando la movilidad internacional de capitales era mucho más restringida. En particular, es de esperarse que en el período cubierto, tanto los coeficientes de riesgo (betas), como las primas de riesgo hayan tendido a igualarse a los correspondientes a mercados integrados con el resto del mundo. No es claro que este grado de integración se mantenga en el futuro.

Para el período mencionado se utilizó la información mensual disponible de precios de acciones y de dividendos de la Bolsa de Bogotá[13]. Esta muestra inicial, de alrededor de 220 empresas se depuró, con base en el criterio de "bursatilidad" de la acción. Solo se incorporaron acciones que se hubiesen transado regularmente en el mercado. Después de aplicar este criterio, la muestra de empresas se redujo a alrededor de 42. Finalmente, se excluyeron

[13] No fue posible obtener la información para ese mismo período de la Bolsa de Medellín.

algunas acciones cuyo comportamiento resultaba altamente atípico en comparación con un índice de rentabilidad del mercado, bien fuese porque correspondían a empresas intervenidas, o por otros motivos económicos. La muestra resultante de empresas fue de 25. Estas empresas se agruparon en los sectores de actividad económica definidos por la superintendencia de valores.

Utilizando la información de precios de las acciones y de los dividendos[14] se construyó la serie mensual de la tasa de rentabilidad anual nominal de la acción, definida como el cociente entre los dividendos causados en el año más el cambio en el precio en el último año y el precio de la acción de hace un año. Esta serie mensual de tasas de rentabilidad nominal se convirtió en términos reales utilizando la tasa de inflación del IPC, excluyendo de este índice de precios los bienes durables[15].

2. Modelo CAPM

A fin de estimar la ecuación (2) para las diferentes empresas y sectores, se utilizó como variable dependiente la diferencia entre la tasa real anual de rentabilidad accionaria, que se definió anteriormente; y la tasa de interés efectiva real de los CDT, variable esta última a través de la cual se aproximó el rendimiento del activo libre de riesgo (de solvencia) en la economía[16]. En el caso de los sectores, la tasa de rentabilidad real anual del sector corresponde al promedio ponderado de la rentabilidad de las empresas que conforman ese sector; siendo la variable de ponderación la participación que tiene el valor de mercado de las acciones de la empresa, dentro del valor total de mercado de las acciones del sector.

En cuanto a la variable independiente en la ecuación (2), la rentabilidad real del mercado se aproximó por el promedio ponderado de la rentabilidad correspondiente a dos tipos de activos, a saber: las acciones y los activos de renta fija. Cada uno de estos dos tipos de activos se ponderó por la participación que tenía su valor, según la información de las Cuentas Financieras del Banco de la República, en cada uno de los años considerados. Como indicador de la rentabilidad de las acciones se tomó el promedio ponderado de la rentabilidad real de las acciones incluidas en la muestra, siendo la variable de ponderación la participación del valor de mercado de las acciones emitidas por la empresa, dentro del valor de mercado total de las acciones emitidas por las empresas de la muestra. Como indicador de la rentabilidad real de los activos de renta fija se utilizó la tasa de interés efectiva real de los CDT.

Los resultados de estimar los coeficientes de riesgo para los diferentes sectores en todo el período muestral, 1992.01 a 1997.12, a partir de la ecuación (2), se muestran en el Cuadro 1[17]. Es preciso mencionar que tanto las variables dependientes como

---

[14] Las series de precios y de dividendos utilizadas corresponden a las publicadas en el Boletín de la Bolsa de Bogotá. Es importante tener en cuenta que el dato de dividendos causados es modificado por esa entidad cuando las empresas reportan cambios al respecto. No obstante, esas modificaciones no son publicadas. Infortunadamente, no fue posible obtener esta información sobre modificaciones de los datos publicados de la Bolsa, no obstante las numerosas solicitudes e ingentes esfuerzos relizados con ese propósito.

[15] En los modelos de valoración de activos de riesgo que se derivan de las formulaciones del consumo, se utiliza como numerario el precio de los bienes de consumo no durable. Véase Mora(1996).

[16] No se tomó la tasa de los TES debido a su alta variabilidad en cortos períodos de tiempo. No obstante, es claro que esta tasa afecta directamente la tasa de los CDT por ser un instrumento de intervención en el mercado monetario.

[17] Los sectores incluídos corresponden a todos aquellos para los cuales fue posible obtener la información necesaria de una o más empresas que lo conforman.

Cuadro 1. RESULTADOS DE LA ESTIMACION DE LOS COEFICIENTES DE RIESGO MODELO "CAPM": MODELO VAR EN PRIMERAS DIFERENCIAS DE LAS SERIES (Período de estimación: 1992.01 - 1997.12)

Sector	Coeficiente beta	Error estándar beta	Estadístico T beta	R^2 regresión	Error estándar regresión	D.W. regresión
Bebidas	1,6919	0,1196	14,1499	0,8162	0,1164	1,8001
Tabaco	1,3075	0,1392	9,3912	0,5624	0,1104	1,5139
Textiles y confecciones	1,6660	0,1781	9,3520	0,5894	0,6423	2,0533
Papel y pulpa de papel	0,8479	0,2353	3,6026	0,1563	0,1171	1,5509
Productos químicos y petroquímicos	0,5590	0,1736	3,2200	0,3141	0,2495	2,2345
Cemento	2,8943	0,1714	16,8815	0,8499	0,3859	2,0528
Otros productos minerales no metálicos	0,8407	0,2787	3,0164	0,0000	0,2554	1,7515
Siderúrgica	1,3751	0,2369	5,8055	0,4361	0,2163	2,0804
Metalmecánica	0,8650	0,4199	2,0601	0,0565	0,0000	1,7839
Artículos varios de consumo popular	1,8736	0,1930	9,7062	0,6138	0,2382	1,8549
Transporte aéreo	1,3357	0,5475	2,4395	0,2622	0,2921	2,1362
Otros servicios ofrecidos por empresas privadas	1,2406	0,3210	3,8644	0,4357	0,3226	1,9193
Bancos	1,3993	0,0816	17,1479	0,8773	0,2671	1,6805
Seguros	1,3773	0,1532	8,9907	0,6972	0,0000	2,0152

Intervalo de confianza del 20% de significancia para los coeficientes de riesgo

	Mínimo beta	Esperado beta	Máximo beta
Bebidas	1,5378	1,6919	1,8460
Tabaco	1,1280	1,3075	1,4869
Textiles y confecciones	1,4364	1,6660	1,8956
Papel y pulpa de papel	0,5445	0,8479	1,1512
Productos químicos y petroquímicos	0,3352	0,5590	0,7827
Cemento	2,6733	2,8943	3,1153
Otros productos minerales no metálicos	0,4814	0,8407	1,1999
Siderúrgica	1,0697	1,3751	1,6804
Metalmecánica	0,3238	0,8650	1,4063
Artículos varios de consumo popular	1,6248	1,8736	2,1224
Transporte aéreo	0,6299	1,3357	2,0415
Otros servicios ofrecidos por empresas privadas	0,8268	1,2406	1,6544
Bancos	1,2941	1,3993	1,5045
Seguros	1,1798	1,3773	1,5747

Beta: Coeficiente de riesgo de (RM-Rf).
Fuente: Cálculos del autor.

la variable independiente no resultaron ser estacionarias. Adicionalmente, en el caso de ninguno de los activos pudo rechazarse la hipótesis nula, al 1% de significancia, de que la variable dependiente y la independiente estaban cointegradas. Por lo tanto, los resultados que se muestran en el Cuadro 1 corresponden a los obtenidos de la estimación del modelo VAR, en primeras diferencias de la ecuación (2), donde se incluye como regresor el error rezagado obtenido de la ecuación cointegrante.

En la primera parte del Cuadro 1 se muestran, además de los coeficientes de riesgo, el error estándar de ese coeficiente, su estadístico *t*, el R^2, y el estadístico Durbin Watson. En la segunda parte del Cuadro 1 se muestran los intervalos de confianza de los coeficientes de riesgo, al 20% de significancia.

Por otro lado, en el Cuadro 2 se muestran los resultados de estimar la prima de riesgo que reconoce el mercado al inversionista en acciones, sobre el

Cuadro 2. ESTIMACION DE LA PRIMA DE RIESGO EN EL MODELO CAPM

Sample: 12232
Included observations: 2232

Variable	Coeficiente	Error estándar	Estadístico T	Probabilidad
Beta	0,09675	0,01155	8,454546	0,0000
S.E. of regression	1,093093	Mean dependent var		0,256892
Sum squared resid	3181,892	Akaike info criterion		0,178393
S.D. dependent var.	1,081451	Schwarz criterion		0,180608
Log likelihood	-4016,678			

Nota: Los coeficientes de riesgo (betas en el período 1992.01 a 1994.11 corresponden a los obtenidos de las regresiones para todo el período 1992.01 a 1997.12. Los betas para el período 1994.12 a 1997.12 corresponden a los obtenidos de regresiones para cada uno de los 36 subperíodo, de 36 observaciones cada uno, comprendidos entre 1992.01 y 1997.12.
Fuente: Cálculos propios.

rendimiento del activo libre de riesgo. El valor resultante de la prima de riesgo, 9,765% anual real, es superior a la estimada para mercados de capitales desarrollados, 5,16% (Fama y French (1997)), como era de esperarse.

Es preciso mencionar que el resultado que se muestra en el Cuadro 2 corresponde a la estimación de la ecuación (4), bajo la hipótesis que dicha prima es la misma en todos los períodos de la muestra. Más adelante se evaluará qué tan estable es dicha prima a lo largo de diferentes subperíodos de la muestra. Los coeficientes de riesgo en la ecuación (4), para el período 1995.01-1997.12 son los obtenidos de regresiones realizadas en los 37 subperíodos secuenciales, de 36 observaciones temporales cada uno, comprendidos entre 1992.01 y 1997.12, de la ecuación (2). Los coeficientes de riesgo para el período 1992.01-1994.12 corresponden a los obtenidos para toda la muestra, los cuales se reportaron en el Cuadro 1. En una sección posterior se reportan los resultados correspondientes a estas regresiones en períodos secuenciales.

Finalmente, en el Cuadro 3 se muestran los estimativos del costo del capital accionario, en exceso de la tasa libre de riesgo, por sectores de actividad, que resultan de los estimativos de los Cuadros 1 y 2, para todo el período muestral 1992.01-1997.12. En la primera parte del Cuadro 3 se presenta el intervalo de confianza para la prima de riesgo, que se obtiene de los resultados del Cuadro 2. En la segunda parte del Cuadro 3 se presentan los estimativos del valor esperado del costo del capital accionario y su intervalo de confianza, al 20% de significancia, cuando se considera el producto de la prima de riesgo estimada en el Cuadro 2 y los valores de los coeficientes de riesgo que se encuentran en los límites y en el centro de su intervalo de confianza; intervalo éste cuyos valores se presentaron en la segunda parte del Cuadro 1. En la tercera parte del Cuadro 3 se presentan los estimativos del valor esperado del costo del capital accionario, en exceso de la tasa libre de riesgo, y su intervalo de confianza, al 20% de significancia, cuando se considera el producto de los valores que definen el intervalo de confianza de la prima de riesgo y de los valores de

Cuadro 3. INTERVALO DE CONFIANZA PARA EL COSTO DEL CAPITAL ACCIONARIO MODELO CAPM

	Intervalo de confianza del 80% de significancia para la prima de riesgo modelo "CAPM"		
	Mínimo beta	**Esperado beta**	**Máximo beta**
	8,61	9,77	10,92
	Intervalo de confianza del 80% de significancia para el costo dell capital accionario en el modelo "CAPM" (considerando unicamente variaciones en los coeficientes de riesgo)		
Bebidas	15,02	16,52	18,03
Tabaco	11,01	12,77	14,52
Textiles y confecciones	14,03	16,27	18,51
Papel y pulpa de papel	5,32	8,28	11,24
Productos químicos y petroquímicos	3,27	5,46	7,64
Cemento	26,10	28,26	30,42
Otros productos minerales no metálicos	4,70	8,21	11,72
Siderúrgica	10,45	13,43	16,41
Metalmecánica	3,16	8,45	13,73
Artículos varios de consumo popular	15,87	18,30	20,73
Transporte aéreo	6,15	13,04	19,94
Otros servicios ofrecidos por empresas privadas	8,07	12,11	16,15
Bancos	12,64	13,66	14,69
Seguros	11,52	13,45	15,38
	Intervalo de confianza del 80% de significancia para el costo del capital accionario en el modelo "CAPM" (considerando variaciones tanto en los coeficientes de riesgo como en las primas de riesgo)		
Bebidas	13,24	16,52	20,16
Tabaco	9,71	12,77	16,24
Textiles y confecciones	12,37	16,27	20,70
Papel y pulpa de papel	4,69	8,28	12,57
Productos químicos y petroquímicos	2,89	5,46	8,55
Cemento	23,02	28,26	34,02
Otros productos minerales no metálicos	4,15	8,21	13,10
Siderúrgica	9,21	13,43	18,35
Metalmecánica	2,79	8,45	15,36
Artículos varios de consumo popular	13,99	18,30	23,18
Transporte aéreo	5,42	13,04	22,29
Otros servicios ofrecidos por empresas privadas	7,12	12,11	18,07
Bancos	11,14	13,66	16,43
Seguros	10,16	13,45	17,20

Fuente: Cálculos propios.

los coeficientes de riesgo que también se encuentran en los límites de su intervalo de confianza.

Puede apreciarse que existen diferencias importantes en los costos del capital accionario, en exceso de la tasa libre de riesgo, entre sectores.

Como se mencionó en el capítulo anterior, la verificación empírica del modelo CAPM ha permitido establecer que generalmente este modelo tiende a sobreestimar la tasa de retorno de los activos con beta mayor que uno; y a subestimar la tasa de retorno de los activos con beta menor que uno. Es de esperarse que esos mismos sesgos estén presentes en los estimativos presentados en los Cuadros 1 y 3. Por lo tanto, el efecto conjunto del coeficiente de riesgo y de la prima de riesgo sobre la tasa de retorno para los sectores que tienen un beta mayor que uno, probablemente sea menor que el valor esperado reportado en el Cuadro 3. Lo contrario se espera en el caso de los sectores con beta menor que uno.

Nótese, de otra parte, que en la ecuación (2), tanto la variable dependiente, como la variable explicativa están expresadas como diferencias con respecto a la tasa libre de riesgo. Por lo tanto, en los resultados anteriores no se ha estimado directamente la tasa libre de riesgo y, en consecuencia, dichos resultados no permiten evaluar el grado de sobreestimación de esa tasa que usualmente produce el modelo CAPM.

En las dos siguientes secciones se evalúa la estabilidad en el tiempo de los coeficientes de riesgo y de la prima de riesgo del modelo CAPM. Es preciso tener en cuenta que de no ser estables esos coeficientes a lo largo del tiempo, los estimativos del costo del capital que se presentaron en el Cuadro 3, solamente serían válidos para 1997, y no para años anteriores.

a. Estabilidad de los coeficientes de riesgo en el modelo CAPM

Es claro que los estimativos del costo del capital accionario que se presentaron anteriormente, para el modelo CAPM, están sujetos a los errores propios de cualquier estimación econométrica, razón por la cual en los cuadros de resultados se presentaron también sus intervalos de confianza. No obstante, además de esta fuente de error, en la literatura se han identificado variaciones significativas entre diferentes períodos de tiempo, tanto de los coeficientes de riesgo, como de la prima de riesgo (Fama y French(1997)). Este hecho introduce una fuente de incertidumbre en la evaluación de los proyectos de inversión, adicional a la que es propia de los flujos de ingresos y egresos, pues significa que la tasa misma de descuento futura resulta ser variable y, en muchos casos, difícil de predecir.

Resulta entonces de interés evaluar qué tan variables son en el tiempo los coeficientes de riesgo anteriores. Con propósitos ilustrativos, en las dos primeras columnas del Cuadro 4 se presentan estimativos del coeficiente de riesgo, beta, para los períodos muestrales 1992.01-1997.12 y 1992.01-1994.12, respectivamente. Adicionalmente, en las columnas 3 a 5 se presentan los promedios simples de los doce valores del coeficiente de riesgo obtenidos de las regresiones secuenciales estimadas sobre los períodos de 36 meses que terminan en cada uno de los doce meses de los años 1995, 1996 y 1997. En ese cuadro también se presentan los errores estándar de los coeficientes de riesgo; el R^2 Ajustado y los errores estándar de las regresiones.

Como puede apreciarse, en general los resultados econométricos son bastante buenos, aunque los errores estándar promedio de los coeficientes son más altos en 1996 y 1997 que en 1995. Con el propósito de evaluar más exactamente esa variabilidad

Cuadro 4. RESULTADOS DE LAS REGRESIONES EN PERIODOS SECUENCIALES

Sector	Coeficiente de riesgo					Error estándar del Coeficiente de Riesgo				
			Regresiones secuenciales					Regresiones secuenciales		
	Período total muestra	Período 1992-94	Promedio 1995	Promedio 1996	Promedio 1997	Período total muestra	Período 1992-94	Promedio 1995	Promedio 1996	Promedio 1997
Bebidas	1,6919	1,5969	1,7793	2,8254	3,2978	0,1196	0,1267	0,1576	0,3683	0,3941
Tabaco	1,3075	1,3178	1,3547	2,2634	1,7251	0,1392	0,1799	0,1706	0,4253	0,4691
Textiles y confecciones	1,6660	1,7643	1,8079	1,7778	1,8693	0,1781	0,2435	0,2853*	0,5460	0,4727
Papel y pulpa de papel	0,8479	0,8266	1,0015	1,0320	1,0577	0,2353	0,3252	0,3481	0,5041	0,4676
Productos químicos y petroquímicos	0,5590	0,4495	0,6716	0,8358	1,1760	0,1736	0,2332	0,3318	0,4801	0,3144
Cemento	2,8943	2,9035	3,0361	4,2580	2,9364	0,1714	0,2543	0,2651	0,4231	0,3296
Otros productos minerales no metálicos	0,8407	1,2354	1,1673	2,0370	2,2516	0,2787	0,3569	0,3278	0,6974	0,8533
Siderúrgica	1,3751	1,3334	1,4122	1,9820	1,7802	0,2369	0,3229	0,3114	0,4837	0,4798
Metalmecánica	0,8650	0,8450	1,1777	5,9824	2,1319	0,4199	0,5622	0,7430	1,9880	1,5410
Artículos varios de consumo popular	1,8736	1,7306	1,7399	2,5497	2,1641	0,1930	0,2742	0,2462	0,4913	0,3073
Transporte aéreo	1,3357	1,4835	1,9164	1,2995	1,3058	0,5475	0,7770	0,5923	0,4643	0,7317
Otros serv. ofrecidos por empresas privadas	1,2406	1,3850	1,7565	1,9095	1,3061	0,3210	0,4398	0,5655	0,7868	0,5679
Bancos	1,3993	1,3645	1,3812	2,2087	1,9825	0,0816	0,1154	0,1451	0,1697	0,1455
Seguros	1,3773	1,3065	1,5834	3,1342	2,4182	0,1532	0,2121	0,2860	0,6018	0,4173
Promedio entre sectores						0,2321	0,3160	0,3411	0,6021	0,5351
	R^2					Error estándar de la regresión				
Bebidas	0,8162	0,8758	0,8733	0,7602	0,7250	0,1045	0,1057	0,0895	0,0713	0,0767
Tabaco	0,5624	0,5731	0,6403	0,4791	0,3687	0,1400	0,1778	0,1354	0,1066	0,1032
Textiles y confecciones	0,5894	0,6302	0,6473	0,4212	0,4494	0,1436	0,1837	0,1489	0,1062	0,0981
Papel y pulpa de papel	0,1563	0,1490	0,1932	0,2174	0,2941	0,1980	0,2588	0,2349	0,1246	0,1052
Productos químicos y petroquímicos	0,3141	0,3623	0,3525	0,3253	0,4303	0,1491	0,1920	0,1799	0,1039	0,0630
Cemento	0,8499	0,8564	0,8639	0,7875	0,7582	0,1380	0,1948	0,1473	0,0889	0,0672
Otros productos minerales no metálicos	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Siderúrgica	0,4361	0,4980	0,4648	0,4995	0,3941	0,1920	0,2496	0,2036	0,1026	0,0994
Metalmecánica	0,0565	0,0548	0,0604	0,2054	-0,0022	0,4245	0,5559	0,5675	0,5001	0,3580
Artículos varios de consumo popular	0,6138	0,6305	0,6329	0,5727	0,6233	0,1939	0,2613	0,1947	0,1078	0,0700
Transporte aéreo	0,2622	0,2647	0,5077	0,3361	0,2998	0,5472	0,7640	0,4447	0,1195	0,1448
Otros serv. ofrecidos por empresas privadas	0,4357	0,4901	0,4415	0,4345	0,2975	0,2272	0,3072	0,2866	0,1596	0,1097
Bancos	0,8773	0,8766	0,8770	0,9081	0,8775	0,0706	0,0971	0,0793	0,0368	0,0308
Seguros	0,6972	0,7199	0,7208	0,6710	0,5682	0,1288	0,1730	0,1537	0,1262	0,0894
Promedio entre sectores						0,1898	0,2515	0,2047	0,1253	0,1011

Fuente: Cálculos propios.

de los coeficientes de riesgo, en el Cuadro 5 se presentan los resultados de estimar la "verdadera varianza" de los coeficientes, a partir de la siguiente ecuación propuesta por Fama y French(1997)[18]:

σ^2 *(Series tiempo)* = σ^2 *(Verdadera)* + σ^2 *(Error estimación)*

Donde la varianza de la serie de tiempo del estimador se calcula para la serie de los coeficientes obtenida de las regresiones secuenciales; y el error estándar del coeficiente corresponde al valor reportado en el Cuadro 4 para el período de estimación 1992.01-1997.12.

Como puede apreciarse en el Cuadro 5, con excepción de pocos sectores, el verdadero error estándar del coeficiente de riesgo es alto, con un promedio entre sectores de 0.6059.

En el Gráfico 1 se ilustra este mismo punto. Puede observarse que no existe un patrón uniforme de comportamiento de los coeficientes de riesgo (betas) de los diferentes sectores a lo largo del tiempo.

De otra parte, al analizar las características estocásticas de la serie de coeficientes obtenidos de las regresiones secuenciales, se encontró que con la

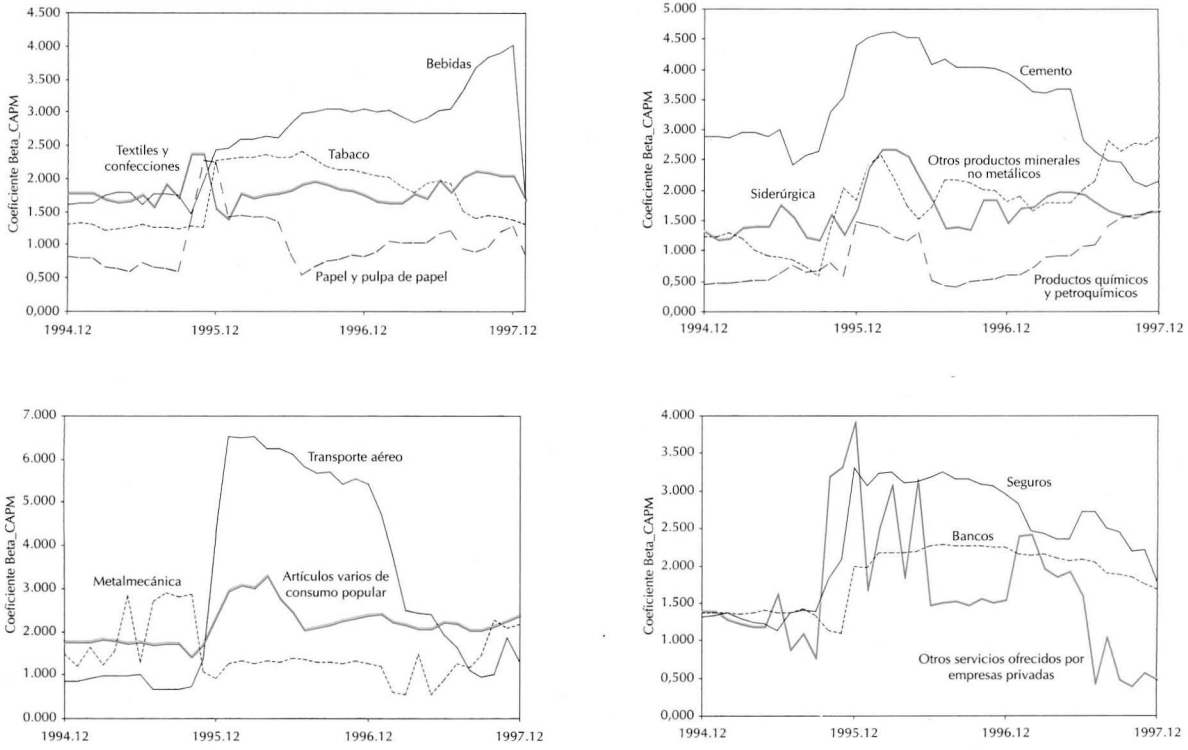
Cuadro 5. ERROR ESTANDAR DEL COEFICIENTE DE RIESGO EN LAS REGRESIONES SECUENCIALES (CAMP)

	Varianza del coeficiente de riesgo en la serie de tiempo	Varianza de la estimación del coeficiente de riesgo	Desviación estándar verdadera del coeficiente de riesgo
Bebidas	0,5231	0,0143	0,7133
Tabaco	0,1966	0,0194	0,4209
Textiles y confecciones	0,0434	0,0317	0,1080
Papel y pulpa de papel	0,1615	0,0554	0,3258
Productos químicos y petroquímicos	0,1720	0,0301	0,3767
Cemento	0,6204	0,0294	0,7688
Otros productos minerales no metálicos	0,3866	0,0777	0,5559
Siderúrgica	0,1625	0,0561	0,3262
Metalmecánica	5,2111	0,1763	2,2438
Artículos varios de consumo popular	0,1890	0,0373	0,3895
Transporte aéreo	0,4079	0,2998	0,3287
Otros servicios ofrecidos por empresas privadas	0,7446	0,1031	0,8010
Bancos	0,1536	0,0067	0,3834
Seguros	0,5712	0,0235	0,7401
Promedio entre sectores	0,6817	0,0686	0,6059

Fuente: Cálculos propios.

[18] Esta ecuación se obtiene de considerar que el coeficiente de riesgo estimado en un período t para el activo i es igual al verdadero coeficiente de riesgo, más un término de error no correlacionado con el verdadero coeficiente:
$\hat{\beta}_{i,t} = \beta_{i,t} + e_{i,t}$; $Cov\ [\beta_{i,t}\ e_{i,t}] = 0,\ \forall t\ ,\ \forall i$

Gráfico 1. COMPORTAMIENTO DE LOS COEFICIENTES DE RIESGO EN EL TIEMPO POR SECTORES (CAPM)



Fuente: Cálculos propios.

excepción del sector de seguros, estas series tienen una raíz unitaria. Por este motivo, el mejor predictor de su valor futuro es el valor actual. Como proxy de ese valor actual pueden tomarse los valores reportados en el Cuadro 4, para el promedio de 1997.

b. Estabilidad de la prima de riesgo en el modelo CAPM

En el Cuadro 6 se muestran los resultados de las regresiones en períodos secuenciales para la prima de riesgo. Puede apreciarse que los errores estándar son bastante bajos, en cualquiera de los períodos o promedios de períodos considerados. No obstante, la prima de riesgo presenta una notable reducción entre 1994 y 1997. Ello se traduce en un valor del "verdadero error estándar" comparativamente alto; aunque menor que en el caso de los coeficientes de riesgo.

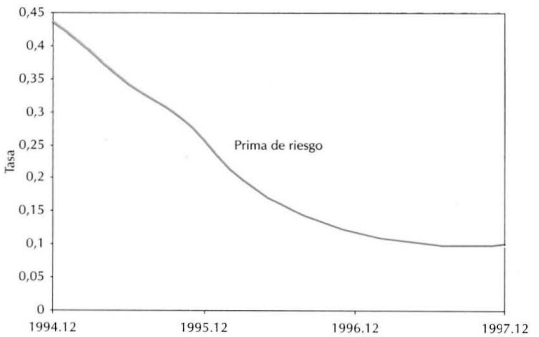
De otra parte, la serie de los valores estimados de la prima de riesgo, por medio de regresiones secuenciales, tiene una raíz unitaria; razón por la cual el mejor predictor de su valor futuro es el valor actual. Ese valor actual puede aproximarse por el estimativo correspondiente al promedio de los valores de 1997, que se muestra en el Cuadro 6. En el Gráfico 2 se muestra la serie mensual de la prima de riesgo obtenida de las regresiones secuenciales.

Cuadro 6. ESTIMACIONES DE LA PRIMA DE RIESGO (CAMP) EN REGRESIONES SOBRE PERIODOS SECUENCIALES

Períodos muestrales	Prima de riesgo	Estadístico t	Error estándar prima de riesgo
Período total de la muestra (1992,01-1997,1)	0,09765	8,455	0,0115
Período 1992,01-1994,12	0,43673	18,482	0,0236
Promedio 1995	0,33915	15,990 [a]	0,0211 [a]
Promedio 1996	0,16199	10,122 [a]	0,0158 [a]
Promedio 1997	0,10050	8,075 [a]	0,0124 [a]
Verdadero error estándar de la prima de riesgo			0,1082 [a]

[a] promedios simples de los 12 estadísticos mensuales.
Fuente: Cálculos propios.

Gráfico 2. COMPORTAMIENTO EN EL TIEMPO DE LA PRIMA DE RIESGO (CAPM)



Fuente: Cálculos propios.

c. *Estimación en el tiempo del costo del capital accionario en el modelo CAPM*

Los resultados que se presentaron en los Cuadros 4 y 6 indican que los estimativos del costo del capital accionario del Cuadro 3 deben interpretarse como valores válidos para todo el período muestral, 1992.01-1997.12; y no como estimativos apropiados del costo del capital en cada uno de los años 1992-1997. Dadas las características estocásticas ya mencionadas de las series de tiempo del coeficiente de riesgo y de la prima de riesgo, los estimativos del Cuadro 3 contituyen buenas aproximaciones del valor futuro y de largo plazo del costo del capital; pero no necesariamente del valor de esta variable en el corto plazo y en períodos pasados.

En el Cuadro 7 se presentan los valores estimados del costo del capital esperado, en exceso de la tasa libre de riesgo, para los mismos períodos y años definidos anteriormente, utilizando los resultados de los Cuadros 4 y 6. Puede apreciarse que como resultado del comportamiento conjunto del coeficientes de riesgo y de la prima de riesgo, el costo del capital accionario, en exceso de la tasa libre de riesgo, ha experimentado una importante reducción entre 1994 y 1997, para el caso de todos los sectores de la muestra.

Con la excepción de un solo sector, esa reducción ha sido continua en el período mencionado.

3. *Modelo APT*

Para estimar la ecuación (6) es preciso calcular el valor de las variables PMG ("pequeñas menos grandes") y AMB ("alto menos bajo").

En cuanto a la primera de esas variables, las empresas pequeñas se definieron, al igual que en Fama y

Cuadro 7. COSTO DEL CAPITAL ACCIONARIO EN DIFERENTES PERIODOS DE TIEMPO (CAPM)

Sector	Período total muestra	Período 1992-94	Regresiones secuenciales		
			Promedio 1995	Promedio 1996	Promedio 1997
Bebidas	16,52	69,74	60,35	45,77	33,14
Tabaco	12,77	57,55	45,95	36,66	17,34
Textiles y confecciones	16,27	77,05	61,32	28,80	18,79
Papel y pulpa de papel	8,28	36,10	33,97	16,72	10,63
Productos químicos y petroquímicos	5,46	19,63	22,78	13,54	11,82
Cemento	28,26	126,80	102,97	68,98	29,51
Otros productos minerales no metálicos	8,21	53,95	39,59	33,00	22,63
Siderúrgica	13,43	58,24	47,90	32,11	17,89
Metalmecánica	8,45	36,90	39,94	96,91	21,43
Artículos varios de consumo popular	18,30	75,58	59,01	41,30	21,75
Transporte aéreo	13,04	64,79	65,00	21,05	13,12
Otros servicios ofrecidos por empresas privadas	12,11	60,49	59,57	30,93	13,13
Bancos	13,66	59,59	46,84	35,78	19,92
Seguros	13,45	57,06	53,70	50,77	24,30
Promedio entre sectores	13,44	60,96	52,78	39,45	19,67

Fuentes: Cuadro 4 y cuadro 6.

French(1997), como aquellas para las cuales el valor de mercado de las acciones ordinarias emitidas es menor que la mediana del valor de mercado de todas las empresas de la muestra. En consecuencia, la variable PMG corresponde, en cada uno de los meses de la muestra, a la diferencia entre la tasa de retorno promedio ponderada de las empresas pequeñas, menos la tasa de retorno promedio ponderada de las empresas grandes, donde la variable de ponderación es, en ambos casos, la participación en el valor de mercado de las acciones emitidas.

Para medir la segunda variable, se procedió a calcular la relación entre el valor del patrimonio en el balance y el valor de mercado de las acciones emitidas para todas las empresas. Posteriormente se evaluó el valor de los percentiles 33 y 66 de esta relación.

En cada momento del tiempo (meses), se definieron las empresas con una relación patrimonio/valor de las acciones baja, como aquellas para las cuales dicha relación era menor o igual al percentil 33; y las empresas con una relación alta, como aquellas con un valor de este cociente mayor que el valor correspondiente al percentil 66. La variable AMB corresponde a la diferencia entre la tasa de retorno promedio ponderada de las segundas, menos la correspondiente a las primeras, para lo cual se usó la misma variable de ponderación mencionada anteriormente.

Tanto la variable PMG, como la variable AMB son no estacionarias. Adicionalmente, estas variables, conjuntamente con las otras dos variables incluidas en la ecuación (6) están cointegradas. En consecuencia, los coeficientes de riesgo se estimaron a partir de la ecuación (6), expresada en diferencias, e incluyendo como regresor el error rezagado de la ecuación cointegrante.

Los resultados de estimar la ecuación (6) para los diferentes sectores, en todo el período muestral

1992.01-1997.12, se muestran en el Cuadro 8. A diferencia del caso de los mercados de capitales desarrollados, el coeficiente de la variable PMG es negativo en la mayoría de los sectores[19]. Puede apreciarse que el valor absoluto del estadístico t es menor, en el caso de todos los coeficientes, que el obtenido para el modelo CAPM; aunque el R^2 ajustado es superior, en el promedio entre sectores; y la significancia conjunta de las variables, medida por el estadístico F, es alta. En la segunda parte del Cuadro 8 se muestra que los mayores errores estándar de los coeficientes del modelo APT se traducen en unos intervalos de confianza, al 80% de significancia, más amplios que en el modelo CAPM.

Debido a la incidencia que tienen los coeficientes de riesgo en la determinación del costo del capital accionaria, ese amplio margen de variabilidad de los mismos, en el modelo APT, hacen menos útil este modelo que el CAPM. Más adelante volveremos sobre este punto, cuando se estime la "verdadera varianza" de los coeficientes de riesgo, a partir de los resultados de las regresiones en períodos secuenciales.

En el Cuadro 9 se presentan los resultados de estimar las primas de riesgo del modelo APT, definidas en la ecuación (7). En el cuadro se muestra que la prima de riesgo para el exceso del rendimiento del mercado sobre el activo libre de riesgo (beta) es mayor que en el modelo CAPM. Sin embargo, este mayor coeficiente debe evaluarse conjuntamente con la prima de riesgo negativa, para el caso de la fuente de riesgo PMG. En el caso de la fuente de riesgo AMB, la prima de riesgo no es estadísticamente diferente de cero; razón por la cual la validez del modelo APT-versión Fama y French, como un todo, debe rechazarse para el caso del mercado de capitales colombiano. Sinembargo, no debe descartarse la posibilidad de que una versión más restringida de ese modelo resulte adecuada para explicar el comportamiento de los precios de los activos en este mercado.

No obstante lo anterior, en el Cuadro 10 se presentan los estimativos del costo del capital accionario, en exceso de la tasa libre de riesgo, resultantes del modelo APT. En general, los resultados por sectores son más altos que en el modelo CAPM. El costo del capital accionario, promedio de los sectores, en exceso de la tasa libre de riesgo, es superior en 5,5 puntos reales anuales en el modelo APT que en el CAPM.

a. Variabilidad de los coeficientes de riesgo en el modelo APT

En el Cuadro 11 se muestran los estimativos de los coeficientes de riesgo y los errores estándar, para los mismos períodos muestrales definidos en el Cuadro 4 y explicados anteriormente. A simple vista las variaciones de los coeficientes son altas e inclusive, en el caso del coeficiente de riesgo PMG, se presentan cambios de signos bastante fuertes entre períodos. El promedio entre sectores de los errores estándar de los coeficientes de riesgo es inferior, en general, a los del modelo CAPM, para todos los períodos. La única excepción la constituye el caso del coeficiente AMB en el promedio de 1996 y en el promedio de 1997. No obstante, como se recordará, ese coeficiente de riesgo resultó no ser significativo en la verificación de la validez global del modelo APT.

En el Cuadro 12 se muestran las estimaciones del "verdadero error estándar" de cada uno de los coe-

[19] Este hecho puede estar asociado a características distintas de los mercados de bienes y servicios que se traducen en una mayor rentabilidad para las empresas grandes, en comparación con las pequeñas. Por lo tanto, no constituye una deficiencia del modelo APT-versión Fama y French en el caso del mercado capitales colombiano.

Cuadro 8. RESULTADOS DE LA ESTIMACION DE LOS COEFICIENTES DE RIESGO MODELO "APT" (Período de estimación: 1992.01 - 1997.12)

Sector	Coeficiente beta	Error estándar beta	Estadístico T beta	Coeficiente CPMG	Error estándar CPMG	Estadístico T CPMG	Coeficiente CAMB	Error estándar CAMB	Estadístico T CAMB	R^2 ajustado regresión	F regresión	D.W. regresión
Bebidas	0,7143	0,4824	1,4807	-0,6139	0,3026	-2,0289	-0,4540	0,2659	-1,7077	0,8288	78,69	1,8688
Tabaco	0,1543	0,5693	0,2710	-0,8330	0,3574	-2,3306	0,5870	0,3338	1,7586	0,6335	38,60	1,6576
Textiles y confecciones	1,0501	0,6480	1,6204	-0,1206	0,4024	-0,2997	0,6306	0,3389	1,8610	0,6476	29,86	1,8794
Papel y pulpa de papel	-0,4113	0,7733	-0,5318	-0,5624	0,4922	-1,1426	1,1471	0,4607	2,4901	0,3374	11,37	1,6522
Productos químicos y petroquímicos	0,7769	0,6571	1,1822	0,1563	0,4054	0,3857	0,0851	0,3206	0,2654	0,3140	7,44	2,1481
Cemento	1,0556	0,5328	1,9811	-1,2763	0,3279	-3,8922	0,9160	0,3009	3,0439	0,8871	127,68	2,1621
Otros productos minerales no metálicos	0,1982	1,1031	0,1797	-0,1582	0,7032	-0,2249	1,3207	0,6482	2,0376	0,2306	6,69	1,7313
Siderúrgica	-0,8478	0,8762	-0,9676	-1,2435	0,5459	-2,2779	1,1787	0,4539	2,5966	0,5044	16,54	1,9065
Metalmecánica	-5,3860	1,6719	-3,2215	-4,0553	1,0547	-3,8449	2,1946	1,0003	2,1940	0,2595	7,83	1,8102
Artículos varios de consumo popular	-0,1978	0,8014	-0,2468	-1,4063	0,5053	-2,7829	0,4009	0,4735	0,8468	0,6601	43,37	1,8924
Transporte aéreo	3,7032	2,1285	1,7398	1,0894	1,3415	0,8121	-3,9946	1,3664	-2,9234	0,2711	6,04	1,9682
Otros servicios ofrecidos por empresas privadas	-2,1082	0,8272	-2,5485	-1,7542	0,5062	-3,4657	2,3886	0,4081	5,8537	0,6627	31,93	1,8487
Bancos	0,7498	0,3163	2,3705	-0,3717	0,1937	-1,9191	-0,4173	0,1652	-2,5260	0,8925	134,88	1,6203
Seguros	-1,0017	0,5342	-1,8751	-1,5718	0,3379	-4,6511	0,5000	0,2433	2,0555	0,7811	57,98	1,8777

Intervalo de confianza del 80% de significancia para los coeficientes de riesgo

	Mínimo Beta	Esperado Beta	Máximo Beta	Mínimo CPMG	Esperado CPMG	Máximo CPMG	Mínimo CAMB	Esperado CAMB	Máximo CAMB
Bebidas	0,0925	0,7143	1,3361	-1,0039	-0,6139	-0,2239	-0,7967	-0,4540	-0,1113
Tabaco	-0,5796	0,1543	0,8882	-1,2937	-0,8330	-0,3723	0,1568	0,5870	1,0173
Textiles y confecciones	0,2148	1,0501	1,8853	-0,6393	-0,1206	0,3981	0,1938	0,6306	1,0674
Papel y pulpa de papel	-1,4081	-0,4113	0,5855	-1,1969	-0,5624	0,0721	0,5533	1,1471	1,7410
Productos químicos y petroquímicos	-0,0702	0,7769	1,6239	-0,3662	0,1563	0,6789	-0,3282	0,0851	0,4984
Cemento	0,3688	1,0556	1,7424	-1,6990	-1,2763	-0,8536	0,5281	0,9160	1,3038
Otros productos minerales no metálicos	-1,2237	0,1982	1,6201	-1,0646	-0,1582	0,7483	0,4852	1,3207	2,1562
Siderúrgica	-1,9772	-0,8478	0,2816	-1,9471	-1,2435	-0,5398	0,5936	1,1787	1,7638
Metalmecánica	-7,5411	-5,3860	-3,2309	-5,4148	-4,0553	-2,6957	0,9053	2,1946	3,4839
Artículos varios de consumo popular	-1,2308	-0,1978	0,8352	-2,0577	-1,4063	-0,7549	-0,2094	0,4009	1,0112
Transporte aéreo	0,9595	3,7032	6,4469	-0,6398	1,0894	2,8186	-5,7559	-3,9946	-2,2333
Otros servicios ofrecidos por empresas públicas	-3,1744	-2,1082	-1,0419	-2,4067	-1,7542	-1,1018	1,8626	2,3886	2,9146
Bancos	0,3421	0,7498	1,1575	-0,6214	-0,3717	-0,1220	-0,6303	-0,4173	-0,2044
Seguros	-1,6903	-1,0017	-0,3131	-2,0074	-1,5718	-1,1362	0,1865	0,5000	0,8136

Beta: Coeficiente de riesgo de $(R_M - R_f)$.

CPMG: Coeficiente de riesgo para la diferencia entre el rendimiento real de las empresas pequeñas y las grandes.

CAMB: Coeficiente de riesgo para la diferencia entre el rendimiento real de las empresas que tienen una relación (patrimonio en libros/valor de mercado de las acciones emitidas) alta y las que tienen una relación baja.

Fuente: Cálculos propios.

Cuadro 9. ESTIMACION DE LAS PRIMAS DE RIESGO EN EL MODELO APT

Sample: 12232
Included observations: 2232

Variable	Coeficiente	Error estándar	Estadístico T	Probabilidad
Beta	0,133168	0,014337	9,288621	0,0000
PMG	-0,224199	0,024504	-9,149305	0,0000
AMB	0,000839	0,020638	0,040647	0,9676
		Mean dependent var		0,248651
S.E. of regression	1,051635	S.D. dependent var		1,049424
Sum squared resid	2465,130	Akaike info criterion		0,102035
Log likelihood	-3277,942	Schwarz criterion		0,109710

Fuente: Cálculos propios.

ficientes de riesgo, calculado en la forma ya explicada en una sección anterior, a partir de los resultados de las regresiones en períodos secuenciales. Los espacios en blanco corresponden a aquellos casos en los cuales la desviación estándar de la serie de tiempo del coeficiente de riesgo resultó ser menor que el error estándar del coeficiente de riesgo estimado por medio de la regresión en el período muestral total (1992.01-1997.12). En general, la variabilidad de los coeficientes de riesgo beta y PMG es alta y, en el caso del primero, es bastante más grande que en el modelo CAPM. Solamente para el coeficiente de riesgo AMB el error estándar es relativamente bajo.

En síntesis, la comparación de los resultados de las estimaciones de los modelos CAPM y APT arrojan una variabilidad menor de los coeficientes de riesgo en el caso del primero, que en el del segundo. Adicionalmente, la validez global del modelo APT-versión Fama y French(1992 y 1997) debe rechazarse para el caso del mercado de capitales colombiano, debido a la insignificancia estadística del coeficiente de riesgo AMB.

b. Variabilidad de las primas de riesgo en el modelo APT

En el Cuadro 13 se presentan los estimativos de las primas de riesgo obtenidos de las regresiones secuenciales. Puede apreciarse que al igual que el caso del modelo APT, se presentan grandes variaciones en el valor de estas variables entre 1994 y 1997, principalmente en el caso de PMG y AMB. Estas variaciones en el tiempo explican el tamaño comparativamente grande del "verdadero error estándar", en comparación con los errores estándar de las primas de riesgo que resultan de las regresiones en períodos secuenciales.

c. Estimativos del costo del capital accionario en el modelo APT

En el Cuadro 14 se presentan los valores estimados del costo del capital esperado por períodos, en exceso de la tasa libre de riesgo, utilizando los resultados de los Cuadros 11 y 13. Al igual que en el caso del modelo CAPM, el costo del capital accionario resultante experimenta un importante reducción entre 1994 y 1997, para todos los sectores de la

Cuadro 10. INTERVALO DE CONFIANZA

Intervalo de confianza del 80% de significancia para las primas de riesgo modelo "APT"
(Período de estimación: 1992.01 - 1997.12)

Sector	Mínimo beta	Esperado beta	Máximo beta	Mínimo CPMG	Esperado CPMG	Máximo CPMG	Mínimo CAMB	Esperado CAMB	Máximo CAMB
	11,88	13,32	14,75	-24,87	-22,42	-19,97	-1,98	0,08	2,15

Intervalo de confianza del 80% de significancia para el costo del capital accionario en el modelo "APT"
(Considerando unicamente variaciones en los coeficientes de riesgo)

Bebidas	22,80	23,24	23,67
Tabaco	20,26	20,78	21,30
Textiles y confecciones	16,27	16,74	17,21
Papel y pulpa de papel	6,33	7,23	8,13
Productos químicos y petroquímicos	6,45	6,85	7,25
Cemento	42,45	42,75	43,05
Otros productos minerales no metálicos	4,98	6,30	7,61
Siderúrgica	16,00	16,69	17,37
Metalmecánica	17,70	19,38	21,05
Artículos varios de consumo popular	28,13	28,93	29,72
Transporte aéreo	22,47	24,56	26,64
Otros serv. ofrecidos por empresas priv.	11,07	11,46	11,84
Bancos	18,13	18,28	18,43
Seguros	21,37	21,94	22,51

Intervalo de confianza del 80% de significancia para el costo del capital accionario en el modelo "APT"
(Considerando variaciones tanto en los coeficientes de riesgo como en las primas de riesgo)

Bebidas	-	23,24	27,64
Tabaco	-	20,78	24,98
Textiles y confecciones	-	16,74	22,15
Papel y pulpa de papel	-	7,23	11,94
Productos químicos y petroquímicos	-	6,85	11,47
Cemento	-	42,75	45,59
Otros productos minerales no metálicos	-	6,30	13,58
Siderúrgica	-	16,69	23,76
Metalmecánica	-	19,38	43,26
Artículos varios de consumo popular	-	28,93	36,96
Transporte aéreo	-	24,56	38,71
Otros serv. Ofrecidos por empresas priv.	-	11,46	18,45
Bancos	-	18,28	19,07
Seguros	-	21,94	29,47

Fuente: Cálculos propios.

muestra; aunque en este caso la magnitud relativa de esa reducción es menor.

B. Método de similares o "pure play"

Esta sección presenta los resultados de estimación del costo del capital sectorial mediante la técnica del "pure play" utilizando como fuente principal de información un estudio reciente de dos de los más autorizados académicos en la materia, Eugene Fama y Kenneth French (1997).

Es preciso señalar que las estimaciones que reportan estos autores en el estudio se realizan sobre el pe-

Cuadro 11. RESULTADOS DE LAS REGRESIONES EN PERIODOS SECUENCIALES (APT)

	Coeficiente de riesgo beta					Coeficiente de riesgo PMG					Coeficiente de Riesgo AMB				
			Regresiones secuenciales					Regresiones secuenciales					Regresiones Secuenciales		
Sector	Período total muestra	Período 1992-94	Promedio 1995	Promedio 1996	Promedio 1997	Período total muestra	Período 1992-94	Promedio 1995	Promedio 1996	Promedio 1997	Período total muestra	Período 1992-94	Promedio 1995	Promedio 1996	Promedio 1997
Bebidas	0,7143	0,8265	1,1620	3,7839	5,0217	-0,6139	-0,4919	-0,4019	0,1885	0,6642	-0,4540	-0,8024	-0,5488	0,0226	-0,1011
Tabaco	0,1543	0,1195	-0,2164	0,0101	-0,3961	-0,8330	-0,7630	-1,0545	-1,0616	-1,3416	0,5870	0,0181	0,5525	0,7559	1,1636
Textiles y confecciones	1,0501	1,1338	0,9515	-0,9623	1,1441	-0,1206	0,0923	-0,2196	-1,0033	-0,4503	0,6306	0,1952	1,0248	1,1822	1,1402
Papel y pulpa de papel	-0,4113	0,2442	0,9026	1,1410	-1,9959	-0,5624	-0,1150	-0,0027	0,0202	-1,5418	1,1471	1,1236	0,8921	0,2984	0,7881
Prod. quím. y petroquím.	0,7769	1,1873	1,3445	3,0647	1,6249	0,1563	0,4412	0,2910	0,7209	0,0220	0,0851	0,3416	0,1307	0,0848	0,1963
Cemento	1,0556	0,9952	1,1322	-0,4337	-0,8068	-1,2763	-1,3557	-1,1210	-1,4117	-1,4596	0,9160	1,2015	0,4586	-0,2884	-0,3115
Otros prod. min. no met.	0,1982	1,5708	1,1020	4,2315	2,3501	-0,1582	1,0762	0,4100	0,8683	-0,0593	1,3207	0,2968	1,0851	1,0008	1,4030
Siderúrgica	-0,8478	-0,6420	-0,2560	0,7156	-0,0151	-1,2435	-1,1629	-0,9041	-0,5940	-0,8119	1,1787	1,6952	0,6574	0,0127	0,5393
Metalmecánica	-5,3860	-6,1699	-6,0879	-4,3433	-1,2541	-4,0553	-4,7321	-4,6332	-4,0459	-1,1947	2,1946	3,0209	2,1462	2,3156	2,3739
Art. var. consumo popular	-0,1978	0,0650	0,3017	1,5091	0,9342	-1,4063	-1,3731	-1,0103	-0,6728	-0,5898	0,4009	0,4793	-0,0929	0,0395	0,2432
Transporte aéreo	3,7032	-0,2948	2,6646	-0,7875	0,8245	1,0894	-0,5695	0,4470	-1,1943	-0,2893	-3,9946	-4,7992	-1,6613	0,5585	-0,9301
Otros serv. ofrec. emp. priv.	-2,1082	-2,6426	-1,0981	-2,3309	-0,4078	-1,7542	-2,2114	-1,4542	-1,7626	-0,7606	2,3886	3,3260	2,1600	0,8245	1,0769
Bancos	0,7498	0,7706	0,4861	1,9112	2,0138	-0,3717	-0,3226	-0,4915	-0,0715	-0,0036	-0,4173	-0,6180	-0,4199	-0,1757	0,0449
Seguros	-1,0017	-1,1614	-1,2669	0,4130	-1,6741	-1,5718	-1,6674	-1,7931	-1,3636	-1,8468	0,5000	0,5297	0,5556	0,6465	0,3833
	Error estándar coeficiente beta					Error estándar coeficiente PMG					Error Estándar Coeficiente AMB				
Bebidas	0,4824	0,4989	0,4555	0,9759	1,2004	0,3026	0,3186	0,2654	0,3510	0,5151	0,2659	0,2959	0,2283	0,2235	0,3001
Tabaco	0,5693	0,7155	0,5616	1,4005	1,4067	0,3574	0,4578	0,3398	0,5171	0,6163	0,3338	0,4645	0,3318	0,3520	0,4013
Textiles y confecciones	0,6480	0,8742	0,7630	1,2519	1,1899	0,4024	0,5603	0,4384	0,4423	0,5155	0,3389	0,5393	0,3774	0,2913	0,2962
Papel y pulpa de papel	0,7733	1,0465	1,0219	1,6658	1,5443	0,4922	0,6828	0,6285	0,6259	0,6894	0,4607	0,6568	0,6082	0,4253	0,4503
Prod. quím. y Petroquí.	0,6571	1,0597	1,1159	1,3798	1,0178	0,4054	0,6738	0,6399	0,5052	0,4467	0,3206	0,5229	0,5363	0,3091	0,2628
Cemento	0,5328	0,8926	0,6806	0,9044	0,6614	0,3279	0,5659	0,4046	0,3285	0,2802	0,3009	0,5119	0,3452	0,2075	0,1698
Otros prod. min. no met.	1,1031	1,1662	0,9758	2,4980	3,0403	0,7032	0,7755	0,6098	0,9471	1,3614	0,6482	0,7389	0,5510	0,6393	0,8986
Siderúrgica	0,8762	1,2101	1,0534	1,3562	1,5037	0,5459	0,7729	0,6225	0,4954	0,6466	0,4539	0,6903	0,5569	0,3094	0,4140
Metalmecánica	1,6719	2,0081	2,3150	6,0678	4,1617	1,0547	1,2837	1,3824	2,2637	1,8130	1,0003	1,2914	1,3680	1,5697	1,1989
Art. var. de consumo popular	0,8014	1,1067	0,8906	1,2630	1,0440	0,5053	0,7031	0,5399	0,4770	0,4748	0,4735	0,6873	0,5341	0,3221	0,3179
Transporte aéreo	2,1285	3,9484	1,7999	1,2634	2,2186	1,3415	2,4325	1,0951	0,4627	0,9948	1,3664	2,0576	1,1023	0,3291	0,6601
Otros serv. ofrec. emp. priv.	0,8272	1,3797	1,2919	2,1201	1,2559	0,5062	0,8609	0,7369	0,7557	0,5326	0,4081	0,7458	0,6110	0,5214	0,3207
Bancos	0,3163	0,5244	0,4138	0,4996	0,4456	0,1937	0,3291	0,2433	0,1867	0,2002	0,1652	0,2734	0,1934	0,1093	0,1276
Seguros	0,5342	0,8436	0,8325	1,6107	1,0481	0,3379	0,5484	0,4955	0,6015	0,4698	0,2433	0,3885	0,3625	0,3437	0,2809
Prom. entre sect. mod. APT	0,8516	1,2339	1,0122	1,7327	1,5527	0,5340	0,7832	0,6030	0,6400	0,6826	0,4842	0,7046	0,5505	0,4252	0,4356

Fuente: Cálculos propios.

Cuadro 12. ERROR ESTANDAR DE LOS COEFICIENTES DE RIESGO EN LAS REGRESIONES SECUENCIALES (APT)

Sector	Coeficiente de riesgo beta	Coeficiente de riesgo PMG	Coeficiente de riesgo AMB
Bebidas	1,6561	0,3641	0,1953
Tabaco			0,0490
Textiles y confecciones	1,0048	0,1564	
Papel y pulpa de papel	1,7898	0,8100	
Productos químicos y petroquímicos	0,7299		
Cemento	0,7325		0,4350
Otros productos minerales no metálicos	1,2020		
Siderúrgica			0,2088
Metalmecánica	3,2758	1,8947	
Artículos varios de consumo popular			
Transporte aéreo	0,1680		0,9057
Otros servicios ofrecidos por empresas privadas	1,2042	0,5076	0,7037
Bancos	0,7057	0,1614	0,1547
Seguros	0,9688	0,1007	
Promedio entre sectores	1,2216	0,5707	0,3789

Nota: Los espacios en blanco corresponden a aquellos casos en los cuales la desviación estándar de la serie de tiempo del coeficiente es inferior al error estándar del coeficiente en la regresión para el período 1992,01-1997,12.
Fuente: Cálculos propios.

Cuadro 13. ESTIMACIONES DE LAS PRIMAS DE RIESGO (APT) EN REGRESIONES SOBRE PERIODOS SECUENCIALES

Períodos muestrales	Beta		PMG		AMB	
	Prima de riesgo	Error estándar prima de riesgo	Prima de riesgo	Error estándar prima de riesgo	Prima de riesgo	Error estándar prima de riesgo
Período total de la muestra (1992.01-1997.1)	0,13317	0,0143	-0,22420	0,0245	0,00084	0,0206
Período 1992.01-1994.12	0,41703	0,0284	-0,72882	0,0441	-0,00258	0,0334
Promedio 1995	0,33145	0,0253 [a]	-0,55180	0,0390 [a]	0,01655	0,0292 [a]
Promedio 1996	0,18297	0,0194 [a]	-0,30669	0,0314 [a]	0,02652	0,0253 [a]
Promedio 1997	0,13467	0,0156 [a]	-0,22184	0,0262 [a]	0,01706	0,0221 [a]
Verdadero error estándar de la prima de riesgo		0,0895 [a]		0,1516 [a]		

[a] Promedios simples de los 12 estadísticos mensuales.
Fuente: Cálculos propios.

ríodo 1963.07-1994.12. Si bien en ese estudio se reportan estadísticos que también indican una alta variabilidad en el tiempo de los coeficientes de riesgo y de las primas de riesgo de los modelos CAPM y APT, para la economía norteamericana, infortunadamente los resultados para subperíodos específicos no están incluidos en el trabajo. Aún si se hubiesen incluído, debido al período de la muestra utilizada, que tan solo se extiende hasta 1994, no podrían compararse con los estimativos de la sección anterior para los años 1994-1997. Por este motivo, en estricto rigor dichos resultados solamente

son comparables con los que se reportaron en la primera sección de este trabajo para un horizonte de largo plazo.

El citado trabajo estima betas para toda la economía utilizando el CAPM y una versión del APT. Según las ecuaciones 1, 3, o 16, este beta multiplica a una prima de riesgo del mercado (market risk premium), que inicialmente supondremos igual a 8.3%[20] (derivada del estudio de Ibbotson y Sinquefield (1989)), de acuerdo con los parámetros internacionales. A este producto se le suma la tasa libre de riesgo[21] (véase la ecuación (16)) y se obtiene un estimativo del costo del capital accionario con su respectivo intervalo de confianza (alfa=0,2) (Cuadro 15).

Este costo tenderá a cambiar en la medida en que se ajuste el beta por el grado de apalancamiento del proyecto o de la empresa. Desafortunadamente, el estudio de Fama y French no trae la información para hacer estos ajustes y poder trabajar con el beta desapalancado. Para subsanar esta situación, se tomaron los datos de estructura patrimonial de las empresas no financieras de 25 sectores de la economía americana reportados por Bradley, Jarrell y Kim (1984)[22]. Con esta información se procedió a desapalancar el beta de Fama y French y a apalancarlo nuevamente con base en los datos propios de los sectores colombianos (Cuadros 16A-16B), de acuerdo con la muestra de empresas de la Superintendencia Nacional de Valores. Así se obtuvo el estimativo del costo del capital accionario sectorial en Colombia[23].

Con este resultado y con un estimativo del costo del endeudamiento, se procedió a estimar el costo promedio ponderado del capital (WACC o weighted average cost of capital). Para tener una idea de lo que puede ser el costo del endeudamiento debe tenerse en cuenta que la DTF promedio durante 1996 fue de 31 % y la tasa promedio de colocación del sistema financiero fue del 42%. Los números reportados (Cuadros 17A-17B) como el costo del pasivo se encuentran dentro de este rango[24]. Nótese que el costo del capital accionario se convirtió a térmi-

---

[20] Esta prima de riesgo del mercado corresponde al promedio simple de la diferencia entre el rendimiento de mercado y el de los T-Bills. Por lo tanto, corresponde a una prima de corto plazo (un año), y la tasa de descuento construída debería aplicarse a flujos del mismo horizonte. La diferencia promedio entre el mercado y los bonos a diez años es de 7,3%, y cuando se usa el rendimiento de los bonos a veinte años el promedio de esa prima es de 6,8%. Así, con esta información se puede, interpolando, construir una prima de riesgo diferente según el horizonte temporal de cada flujo, que es lo más conveniente. Utilizar una misma tasa de descuento para todo el proyecto implica suponer un riesgo creciente exponencialmente a través del tiempo (Patterson, 1995; Trigeorgis, 1997). Este puede ser un supuesto válido para cierto tipo de proyectos pero no para otros. Más adelante volveremos a tratar este tema de la prima de riesgo del mercado, cuando se tomen los datos del caso colombiano.

[21] Actualmente la tasa de los TES del Gobierno y las OMAS del Banco de la República implican una tasa real de interés del orden del 8%. Sin embargo, el promedio histórico de la tasa de interés real durante el período 1950-1996 es del orden del 4%. Por lo anterior se tomó una tasa libre de riesgo del 6% en las estimaciones que siguen en esta sección.

[22] El Cuadro 1 de los mencionados autores trae la relación de Deuda (B) a deuda más patrimonio ($B+S$). Para obtener la expresión que necesitamos, B/S, se dividen numerador y denominador de $B/S+B$ por S. De allí resulta que $(B/S)/(1+B/S)= x$, donde x es el valor reportado en la tabla. Así, resulta que $B/S= x/1-x$. Adicionalmente, si algún sector específico no aparece en la tabla de Bradley et.al. se tomó como fuente Los datos de Rajan y Zingales (1995).

[23] Como se mencionó en el capítulo anterior, se supone que el sector del cual se toma el beta es comparable con el sector al cual se aplica. Una forma de verificar este supuesto es mediante la construcción del cociente entre los ingresos operacionales al total de ingresos de un sector. En el Anexo 1 se reporta el valor de este cociente para los diferentes sectores, observándose que su valor es superior al 73% en todos los casos.

[24] El costo del pasivo se calculó a partir del modelo de precios de opciones. Concretamente, se utilizó la ecuación (20A), donde se ve que dicho costo es igua a los intereses pagados sobre el valor de mercado de la deuda. En la siguiente sección se describe este cálculo.

Cuadro 14. COSTO DEL CAPITAL ACCIONARIO POR PERIODOS (APT)

Sector	Coeficiente de riesgo beta				
			Regresiones secuenciales		
	Período total muestra	Período 1992-94	Promedio 1995	Promedio 1996	Promedio 1997
Bebidas	0,2324	0,7053	0,5978	0,6351	0,5272
Tabaco	0,2078	0,6059	0,5193	0,3475	0,2641
Textiles y confecciones	0,1674	0,4051	0,4535	0,1630	0,2734
Papel y pulpa de papel	0,0723	0,1828	0,3154	0,2105	0,0867
Productos químicos y petroquímicos	0,0685	0,1727	0,2873	0,3419	0,2173
Cemento	0,4275	1,4000	1,0014	0,3459	0,2098
Otros productos minerales no metálicos	0,0630	-0,1301	0,1570	0,5345	0,3536
Siderúrgica	0,1669	0,5754	0,4249	0,3135	0,1873
Metalmecánica	0,1938	0,8680	0,5743	0,5076	0,1366
Artículos varios de consumo popular	0,2893	1,0266	0,6559	0,4835	0,2608
Transporte aéreo	0,2456	0,3045	0,6090	0,2370	0,1594
Otros servicios ofrecidos por empresas privadas	0,1146	0,5011	0,4742	0,1360	0,1322
Bancos	0,1828	0,5580	0,4253	0,3670	0,2728
Seguros	0,2194	0,7295	0,5787	0,5109	0,1908
Promedio entre sectores	0,1894	0,5646	0,5053	0,3667	0,2337

Fuente: Cálculos propios.

nos nominales, ajustando el valor real por las expectativas de inflación del 18%.

Hasta el momento se ha utilizado principalmente información internacional para calcular el costo del capital de los sectores colombianos, siendo únicamente los datos ajustados por el apalancamiento de los sectores en Colombia. Cabe preguntarse si a estos resultados habría que sumarse alguna prima de riesgo país, tal vez para incorporar algún tipo de riesgo cambiario o de riesgo de seguridad. En principio la respuesta es no, ya que estos son riegos específicos que son diversificables. Por ejemplo, el riesgo cambiario se compensa mediante mecanismos diseñados específicamente para ello (futuros, opciones, composición del portafolio[25]). El riesgo en el país se compensa ajustando el portafolio de inversiones internacionales (véase el Cap. 10 de Patterson, op.cit.o el Cap. 7 de Ehrhardt).

Todos esos riesgos son incorporados en la información de mercado, capturada en la prima de riesgo de mercado. Por ello lo apropiado sería trabajar con esta prima específica de la economía colombiana, en lugar de trabajar con el 6% - 8% del estudio de Ibbotson y Asociados. Trabajaremos con el 9.8% de prima de riesgo estimada en secciones anteriores de este trabajo[26], para todo el período muestral 1992.01-1997.12.

Cuando se revisan los estimativos con esta prima de riesgo del mercado aumentan ligeramente los órdenes de magnitud (Cuadros 16B y 17B) del costo del capital sectorial. Nótese que en casi todos los

[25] Si bien en Colombia no existen mercados de futuros, sí existen instrumentos que permiten cubrir el riesgo cambiario, como son las operaciones "forward".

Cuadro 15. BETAS Y COSTO DEL CAPITAL ACCIONARIO EN TERMINOS REALES CALCULADO CON BASE EN EL ESTUDIO DE FAMA-FRENCH (Betas estimados para toda la muestra 1963.07 - 1994.12)

Sector	beta[a]	Intervalo de confianza[b]		Costo del capital[c]	Intervalo de confianza[d]	
Agricultura	1,00	0,68	1,32	14,3	11,7	16,9
Petróleo y gas natural	0,85	0,62	1,08	13,1	11,1	15,0
Carbón	0,96	0,74	1,18	14,0	12,2	15,8
Oro	0,78	0,26	1,30	12,5	8,1	16,8
Minería no metálica	0,98	0,76	1,20	14,1	12,3	15,9
Alimentos	0,87	0,74	1,00	13,2	12,2	14,3
Bebidas alcohólicas	0,92	0,64	1,20	13,6	11,3	16,0
Tabaco	0,80	0,65	0,95	12,6	11,4	13,9
Textiles	1,12	1,11	1,13	15,3	15,2	15,4
Calzado	1,24	1,06	1,42	16,3	14,8	17,8
Papel	1,11	1,10	1,12	15,2	15,1	15,3
Imprentas y editoriales	1,17	0,98	1,36	15,7	14,1	17,3
Químicos	1,09	1,04	1,14	15,0	14,6	15,5
Caucho y plástico	1,21	1,11	1,31	16,0	15,2	16,9
Siderúrgica	1,16	1,13	1,19	15,6	15,4	15,9
Fabr. productos diversos	1,31	0,99	1,63	16,9	14,2	19,6
Construcción	1,28	1,15	1,41	16,6	15,6	17,7
Artículos consumo popular	1,11	0,96	1,26	15,2	14,0	16,4
Vehículos	1,01	0,87	1,15	14,4	13,3	15,5
Comercializadoras	1,15	1,01	1,29	15,5	14,3	16,7
Transporte	1,21	1,11	1,31	16,0	15,2	16,9
Comunicaciones	0,66	0,48	0,84	11,5	10,0	12,9
Hoteles, moteles y similares	1,32	1,03	1,61	17,0	14,5	19,4
Bancos	1,09	0,94	1,24	15,0	13,8	16,3
Cías. financiamiento cial.	1,16	1,02	1,30	15,6	14,5	16,8
Seguros	1,01	0,92	1,10	14,4	13,6	15,1
Corpor. de ahorro y vivienda	1,23	1,10	1,36	16,2	15,1	17,3

[a] Fama-French (1997). Cuadro 2, excepto el beta de CAVS obtenido de Patterson ajustado para hacerlo comparable con el resto de la serie.

[b] Calculado para un 80% de confiabilidad= [1] más o menos 1,28*desviación estándar de Fama-French.

[c, d] Beta* 0,083 + 0,06.

Fuente: Fama-French (1997).

[26] Debe tenerse en cuenta que el único otro punto de referencia es un estudio de Mora (1996) en donde se estima una prima de riesgo del mercado colombiano del orden del 18%, para el período 1984.1-1996.2. Recuérdese que, según los resultados de la primera sección de este capítulo, el valor estimado de la prima de riesgo para 1996 era, en promedio, del 16%. En el trabajo de Mora(1996) se tomó una definición de rendimiento del mercado más restringida que la empleada en el presente documento. Adicionalmente, el período muestral del presente estudio es más homogéneo, por incluir únicamente la etapa de integración financiera de la economía colombiana con el resto del mundo de la presente década. Como se mostró en la primera sección de este capítulo, la prima de riesgo ha experimentado una drástica caída desde 1992 hasta 1997.

sectores el costo del capital accionario supera el del endeudamiento.

C. Método del mecanismo de fijación de precios de opciones

1. Estimación e identificación de problemas

Se utilizarán las ecuaciones 20A, 20B y 20C para estimar el costo de la deuda, el costo del capital accionario y el costo ponderado del capital respec-

Cuadro 16A. BETAS Y COSTO DEL CAPITAL ACCIONARIO AJUSTADO POR EL APALANCAMIENTO CON BASE EN EL ESTUDIO DE FAMA-FRENCH (Betas estimados para toda la muestra 1963.07 - 1904.12)

Sector	[1] Beta	[2] Deb/equity	[3] Beta no apalancado	[4] Pasivos/ patrimonio	[5] Beta apalancado	[6] Costo del capital
Agricultura[a]	1,00	0,33	0,82	0,35	1,01	14,4
Petróleo y gas natural	0,85	0,29	0,71	0,99	1,17	15,7
Carbón[b]	0,96	0,55	0,71	0,99	1,16	15,6
Oro[c]	0,78	0,53	0,58	0,73	0,86	13,1
Minería no metálica[c]	0,98	0,53	0,73	0,73	1,07	14,9
Alimentos	0,87	0,26	0,74	0,30	0,89	13,4
Bebidas alcohólicas[b]	0,92	0,40	0,73	0,36	0,90	13,5
Tabaco[b]	0,80	1,06	0,47	0,16	0,52	10,3
Textiles	1,12	0,48	0,85	0,62	1,20	15,9
Calzado	1,24	0,35	1,01	0,94	1,63	19,5
Papel	1,11	0,41	0,88	0,29	1,04	14,7
Imprentas y editoriales	1,17	0,18	1,05	0,41	1,32	17,0
Químicos	1,09	0,34	0,89	0,85	1,39	17,5
Caucho y plástico	1,21	0,48	0,92	0,65	1,31	16,9
Siderúrgica	1,16	0,62	0,83	1,24	1,49	18,4
Fabr. productos diversos	1,31	0,33	1,08	0,42	1,37	17,4
Construcción	1,28	0,31	1,06	1,30	1,96	22,3
Artículos consumo popular	1,11	0,53	0,83	0,45	1,07	14,9
Vehículos	1,01	0,37	0,81	1,10	1,39	17,6
Comercializadoras[a]	1,15	0,33	0,95	0,17	1,05	14,7
Transporte	1,21	0,89	0,77	4,40	2,96	30,6
Comunicaciones	0,66	1,04	0,39	0,19	0,44	9,7
Hoteles, moteles y similares[b]	1,32	1,03	0,79	0,17	0,88	13,3
Bancos	1,09	0,00		1,09	1,09	15,0
Cias. financiamiento comercial	1,16	0,00		1,16	1,16	15,6
Seguros	1,01	0,00		1,01	1,01	14,4
Corpor, de ahorro y vivienda	1,23	0,00		1,23	1,23	16,2

[1] Fama-French (1997).

[2] La fuente de todas las relaciones de apalancamiento de los distintos sectores la industria americana es Bradley, Jarrell y Kim (1984), excepto por lo señalado en las siguientes notas.

[3] [1]/ (1+[2]* 0,65)

[4] Cálculos con información de la Superintendencia de Valores.

[5] [3]*(1+[4]* 0,65)

[6] [5]* 0,083 + 0,06

[a] La fuente del Debto to Equity es Rajan y Zingales (1995) y corresponde a la mediana de las empresa no finacieras de los Estados Unidos.

[b] La fuente de la relación de apalancamiento es Marketguide. Ver muestra de empresas en el anexo.

[c] Se tomó como relación de apalancamiento la misma del carbón.

Fuente: Cálculos propios.

Cuadro 16B. BETAS Y COSTO DEL CAPITAL ACCIONARIO AJUSTADO POR EL APALANCAMIENTO Y LA PRIMA DE RIESGO DEL MERCADO EN COLOMBIA CON BASE EN EL ESTUDIO DE FAMA-FRENCH (Betas estimados para toda la muestra 1963.06 - 1994.12)

Sector	[1] Beta	[2] Deb/equity	[3] Beta no apalancado	[4] Pasivos/ patrimonio	[5] Beta apalancado	[6] Costo del capital
Agricultura[a]	1,00	0,33	0,82	0,35	1,01	0,0
Petróleo y gas natural	0,85	0,29	0,71	0,99	1,17	0,0
Carbón[b]	0,96	0,53	0,72	0,99	1,18	0,0
Oro[c]	0,78	0,53	0,58	0,73	0,86	0,0
Minería no metálica[c]	0,98	0,53	0,73	0,73	1,07	0,0
Alimentos	0,87	0,26	0,74	0,30	0,89	0,0
Bebidas alcohólicas[b]	0,92	0,30	0,77	0,36	0,95	0,0
Tabaco[b]	0,80	0,79	0,53	0,16	0,58	0,0
Textiles	1,12	0,48	0,85	0,62	1,20	0,0
Calzado	1,24	0,35	1,01	0,94	1,63	0,0
Papel	1,11	0,41	0,88	0,29	1,04	0,0
Imprentas y editoriales	1,17	0,18	1,05	0,41	1,32	0,0
Químicos	1,09	0,34	0,89	0,85	1,39	0,0
Caucho y plástico	1,21	0,48	0,92	0,65	1,31	0,0
Siderúrgica	1,16	0,62	0,83	1,24	1,49	0,0
Fabr. productos diversos	1,31	0,33	1,08	0,42	1,37	0,0
Construcción	1,28	0,31	1,06	1,30	1,96	0,0
Artículos consumo popular	1,11	0,53	0,83	0,45	1,07	0,0
Vehículos	1,01	0,37	0,81	1,10	1,39	0,0
Comercializadoras[a]	1,15	0,33	0,95	0,17	1,05	0,0
Transporte	1,21	0,89	0,77	4,40	2,96	0,0
Comunicaciones	0,66	1,04	0,39	0,19	0,44	0,0
Hoteles, moteles y similares[b]	1,32	1,18	0,75	0,17	0,83	0,0
Bancos	1,09	0,00		1,09	1,09	0,0
Cias financiamiento comercial	1,16	0,00		1,16	1,16	0,0
Seguros	1,01	0,00		1,01	1,01	0,0
Corpor. de ahorro y vivienda	1,23	0,00		1,23	1,23	0,0

[1] Fama-French (1997).

[2] La fuente de todas las relaciones de apalancamiento de los distintos sectores la industria americana es Bradley, Jarrell y Kim (1984) excepto por lo señalado en las siguientes notas.

[3] [1]/ (1+[2]* 0,65)

[4] Cálculos con información de la Superintendencia de Valores.

[5] [3]* (1+[4]* 0,65)

[6] [5]* 0,098 + 0,06

[a] La fuente del Debto to Equity es Rajan y Zingales (1995) y corresponde a la mediana de las empresa no finacieras de los Estados Unidos.

[b] La fuente de la relación de apalancamiento es Marketguide, Ver muestra de empresas en el anexo.

[c] Se tomó como relación de apalancamiento la misma del carbón.

Fuente: Cálculos propios.

Cuadro 17A. COSTO PROMEDIO PONDERADO DEL CAPITAL (WACC) EN TERMINOS NOMINALES

Sector	[1] B/S+B	[2] Costo pasivo	[3] S/S+B	[4] Costo capital accionario	[5] Costo ponderado WACC
Agricultura[a]	45,2	35,9	54,8	35,0	35,4
Petróleo y gas natural	41,7	35,0	58,3	36,6	35,9
Carbón[b]	41,4	35,0	58,6	36,5	35,9
Oro[c]	36,7	35,5	63,3	33,5	34,2
Minería no metálica[c]	42,2	35,5	57,8	35,6	35,6
Alimentos	42,7	34,4	57,3	33,8	34,1
Bebidas alcohólicas[b]	42,2	33,1	57,8	33,9	33,6
Tabaco[b]	32,1	32,9	67,9	30,2	31,1
Textiles	46,0	37,0	54,0	36,8	36,9
Calzado	50,2	33,8	49,8	41,0	37,4
Papel	46,7	38,0	53,3	35,3	36,6
Imprentas y editoriales	51,1	34,8	48,9	38,0	36,4
Químicos	47,1	35,6	52,9	38,6	37,2
Caucho y plástico	47,9	36,6	52,1	37,9	37,3
Siderúrgica	45,3	34,6	54,7	39,7	37,4
Fabr. productos diversos	51,8	36,0	48,2	38,5	37,2
Construcción	51,5	36,3	48,5	44,3	40,2
Artículos consumo popular	45,2	32,1	54,8	35,5	34,0
Vehículos	44,8	37,5	55,2	38,7	38,2
Comercializadoras[a]	48,6	33,8	51,4	35,4	34,6
Transporte	43,4	35,9	56,6	54,1	46,2
Comunicaciones	28,2	37,0	71,8	29,4	31,6
Hoteles, moteles y similares[b]	44,2	36,2	55,8	33,7	34,8
Bancos	52,2	35,0	47,8	35,8	35,4
Cias financiamiento comercial	53,7	35,0	46,3	36,4	35,7
Seguros	50,2	35,0	49,8	35,0	35,0

[1] y [3] Cálculos con base en muestra Supervalores
B Pasivos
S Patrimonio
[2] Calculado con base en el mecanismo de precios de opciones descrito más adelante
[4] Calculado con base en la columna [6] del cuadro anterior ajustado por expectativas
[5] [1]*[2]+[3]*[4]
[a] La fuente del Debto to Equity es Rajan y Zingales (1995) y corresponde a la mediana de las empresa no finacieras de los Estados Unidos.
[b] La fuente de la relación de apalancamiento es Marketguide, Ver muestra de empresas en el anexo.
[c] Se tomó como relación de apalancamiento la misma del carbón.
Fuente: Cálculos propios.

tivamente. El punto de mayor complejidad analítica, que se convierte en el momento de la aplicación en uno de los parámetros de mayor sensibilidad, es el cálculo del valor de mercado de la deuda. Sin embargo los estimativos reportados en el Cuadro 17A permiten intuir que se han obtenido resultados no alejados de la realidad. El supuesto de Hsia de que hay un valor "permanente" del endeudamiento y de que el pago anual observado de esa perpetuidad se convierte en un bono cero-cupón implica que esa anualidad se acumula al futuro durante n períodos. El número de períodos varía en cada caso y está

Cuadro 17B. COSTO PROMEDIO PONDERADO DEL CAPITAL (WACC) EN TERMINOS NOMINALES Y LA PRIMA DE RIESGO DEL MERCADO EN COLOMBIA

Sector	[1] B/S+B	[2] Costo pasivo	[3] S/S+B	[4] Costo capital accionario	[5] Costo ponderado WACC
Agricultura[a]	0,41	0,36	0,59	0,3677	36,4
Petróleo y gas natural	0,45	0,35	0,55	0,3866	37,0
Carbón[b]	0,39	0,35	0,61	0,3868	37,2
Oro[c]	0,35	0,36	0,65	0,3497	35,2
Minería no metálica[c]	0,40	0,36	0,60	0,3751	36,7
Alimentos	0,43	0,34	0,57	0,3537	35,0
Bebidas alcohólicas[b]	0,43	0,33	0,57	0,3607	34,8
Tabaco[b]	0,36	0,33	0,64	0,3184	32,2
Textiles	0,44	0,37	0,56	0,3891	38,1
Calzado	0,47	0,34	0,53	0,4388	39,1
Papel	0,47	0,38	0,53	0,3714	37,5
Imprentas y editoriales	0,49	0,35	0,51	0,4039	37,6
Químicos	0,48	0,36	0,52	0,4110	38,5
Caucho y plástico	0,46	0,37	0,54	0,4022	38,6
Siderúrgica	0,45	0,35	0,55	0,4236	38,8
Fabr. productos diversos	0,48	0,36	0,52	0,4093	38,6
Construcción	0,50	0,36	0,50	0,4777	42,0
Artículos consumo popular	0,44	0,32	0,56	0,3743	35,1
Vehículos	0,47	0,38	0,53	0,4121	39,5
Comercializadoras[a]	0,45	0,34	0,55	0,3724	35,7
Transporte	0,42	0,36	0,58	0,5934	49,4
Comunicaciones	0,32	0,37	0,68	0,3019	32,4
Hoteles, moteles y similares[b]	0,39	0,36	0,61	0,3467	35,3
Bancos	0,83	0,35	0,17	0,3768	35,5
Cias. financiamiento comercial	0,86	0,35	0,14	0,3849	35,5
Seguros	0,50	0,35	0,50	0,3676	35,9
Corpor. de ahorro y vivienda	0,92	0,35	0,08	0,3930	35,3

[1] y [3] Cálculos con base en muestra Supervalores.
B Pasivos.
S Patrimonio.
[2] Calculado con base en el mecanismo de precios de opciones descrito más adelante.
[4] Calculado con base en la columna [6] del cuadro 16A ajustado por expectativas de inflación (18).
[5] [1]*[2]+[3]*[4]
[a] La fuente del Debto to Equity es Rajan y Zingales (1995) y corresponde a la mediana de las empresa no finacieras de los Estados Unidos.
[b] La fuente de la relación de apalancamiento es Marketguide, Ver muestra de empresas en el anexo.
[c] Se tomó como relación de apalancamiento la misma del carbón.
Fuente: Cálculos propios.

determinado por la tasa de interés efectiva pagada por cada sector. Este valor futuro se descuenta al presente con base en lo expresado en el capítulo anterior.

Los resultados (Cuadro 18) son sorprendentes, ya que el costo del capital así estimado es casi del doble del estimado por el método de similares en todos los casos. Los resultados son iguales, indepen-

Cuadro 18. COSTO DE LA DEUDA DEL CAPITAL ACCIONARIO Y COSTO PONDERADO DEL CAPITAL UTILIZANDO EL MECANISMO DE PRECIOS DE OPCIONES
(Tasas nominales, sin ajuste por el sesgo de Black-Scholes)

Sector	Intereses pag/oblig fin	1996			1995		
		Costo pasivo	Costo accionario	Costo capital	Costo pasivo	Costo accionario	Costo capital
Agrícola	28	35,9	82,8	77,1	35,9	81,5	74,8
Fondos ganaderos	28	33,4	85,5	84,0	34,0	86,9	85,3
Extracción de pretróleo, gas y carbón	27	35,0	77,9	70,4	38,4	84,0	64,9
Oro y otros minerales no ferrosos	29	35,5	77,2	66,4	35,6	78,5	69,2
Alimentos	21	34,4	79,3	74,6	35,3	81,3	75,9
Bebidas	16	33,1	80,3	77,9	33,5	80,4	77,6
Tabaco	34	32,9	84,4	83,0	33,4	83,9	82,2
Textiles y confecciones	47	37,0	81,2	68,1	37,2	81,9	70,2
Calzado y otros artículos de cuero	34	33,8	73,8	65,7	34,0	74,4	66,2
Madera y corcho	6	32,6	72,2	66,5	33,3	72,3	64,2
Papel y pulpa de papel	34	38,0	89,3	84,9	35,6	82,5	77,2
Imprentas y editoriales	29	34,8	79,7	74,3	37,5	84,1	74,6
Productos químicos y petroquímicos	24	35,6	77,8	67,8	35,5	77,0	65,4
Caucho y plástico	42	36,6	81,7	72,8	36,4	79,6	67,8
Vidrio y productos de vidrio	28	33,7	74,8	68,1	33,5	76,4	71,7
Cemento	13	33,0	81,3	79,2	34,7	85,5	82,9
Otros productos minerales	46	36,5	89,2	86,7	32,7	77,3	74,4
Siderurgica	37	34,6	74,8	64,1	34,8	75,2	64,2
Metalmecánica	32	36,2	78,2	60,7	36,0	77,5	59,9
Sofasa	36	34,6	76,4	68,4	35,8	78,5	68,6
Fabricación de productos diversos	33	36,0	81,5	74,4	36,9	82,3	72,9
Electricidad	1	31,8	90,0	89,7	31,9	86,5	85,9
Distribución de gas y otros combustibles	24	34,8	77,6	70,5	34,5	76,9	70,1
Acueducto	36	36,9	88,6	48,8	35,4	77,2	53,8
Edificación de vivienda	12	33,1	72,6	65,7	32,8	71,3	64,2
Obras civiles	44	36,4	79,2	58,1	36,9	81,2	57,3
Otras construcciones	66	39,4	96,6	92,3	39,8	95,6	90,1
Artículos varios de consumo popular	20	32,1	80,4	78,9	32,0	82,7	81,6
Vehículos diversos y repuestos	25	37,5	81,8	66,2	35,5	76,4	57,6
Comercializadoras de otros artículos	25	33,8	82,2	79,6	36,2	86,2	82,0
Transporte aéreo	26	32,8	69,0	53,3	32,8	69,3	51,4
Transporte terrestre	57	38,9	87,7	58,5	37,1	81,2	58,3
Comunicaciones	16	37,0	85,9	81,5	33,1	75,8	71,5
Clínicas	7	32,2	84,9	84,0	36,1	84,3	79,2
Otros servicios de salud privados	46	35,5	76,9	55,2	36,8	80,9	57,0
Hoteles, moteles y similares	12	36,2	93,1	91,7	34,0	89,0	87,6
Universidades	54	35,6	78,7	69,9	33,6	77,3	72,9
Centrales de abastos	31	35,2	78,6	71,3	34,5	77,4	70,9
Centros de convenciones y exposiciones	2	32,3	88,1	87,5	32,3	n.d.	n.d.
Otros serv. ofrecidos por empresas privadas	52	35,7	82,4	76,9	35,8	83,9	79,2
Promedio	28,7	35,0	81,3	72,9	80,4	71,3	71,3
Mediana	28,5	35,0	80,8	72,1	80,9	71,5	71,5

Fuente: Cálculos propios.

dientemente del año (1995 o 1996) con que se hubiese hecho la estimación.

La aplicación práctica de estos modelos de finanzas en tiempo contínuo, entre los que se cuenta el modelo Black-Scholes, ha sido una tarea ardua y con dificultades de parte de académicos y profesionales de las finanzas. Merton (1990), que es uno de los principales gestores de esta teoría, afirma que la utilidad y la validación empírica de estos modelos está aun en etapas de desarrollo.

Por ejemplo, se ha detectado que las fórmulas de fijación de opciones tienen sesgos sistemáticos que han dado lugar al modelaje econométrico de estos errores, definidos éstos como la diferencia entre el precio de mercado y el proyectado por el modelo (Renault, 1997). Diversos estudios han cuantificado el sesgo en la fórmula Black-Scholes (MacBeth y Merville, 1979) y al comparar este modelo con metodologías alternativas de determinación de precios de opciones se obtiene una reducción significativa de los errores (Bakshi, Cao y Chen, 1997). Por ejemplo, en la Tabla 3 de MacBeth y Merville se observa que para algunas acciones como la de ATT, la diferencia entre el precio observado de la opción de compra y el proyectado por el modelo Black-Scholes puede llegar en promedio al 16% (como porcentaje del precio BS) con una desviación estándar de .16; para la acción de IBM la diferencia promedio es del 18% con una desviación estándar de 0.16. Así, se ve que, al construir un intervalo de confianza significativo al 0,05, resulta que las diferencias entre el valor real y el proyectado pueden ascender al 50%.

En otro trabajo, Bakshi, Cao y Chen (1997), calculan los errores provenientes del modelo Black-Scholes con aquellos de mecanismos alternativos[27], obteniéndose reducciones significativas. Por ejemplo, en la tabla 5 de los mencionados autores se observa el error de proyección, en valor absoluto, de cuatro modelos de determinación de precios de opciones. En todos los casos el modelo BS produce el error más grande, y su tamaño varía con el tiempo de vencimiento de la opción. Por ejemplo, en opciones con menos de 60 de días de vencimiento, el modelo BS arroja errores que son más del doble del error producido por el modelo más preciso. En promedio, el error se puede reducir en un 79%. Cuando el plazo de vencimiento de la opción aumenta, por ejemplo en aquellas de 180 días o más de vencimiento, este porcentaje aumenta a casi 125%. Esto coincide con lo descrito en los textos de finanzas (Hull, 1993) de acuerdo con lo cual el sesgo aumenta con el tiempo de vencimiento de la opción. En la misma tabla 5 de Bakshi, Cao y Chen, se presenta el error (la diferencia entre el precio proyectado por el modelo y el precio de mercado) como porcentaje del precio real de mercado, observándose que para el modelo BS puede llegar hasta un máximo de 83%.

Teniendo en cuenta que las opciones cuyos precios se estimaron en el presente trabajo tienen plazos de vencimiento que llegan a varios años, es de esperarse un sesgo significativo. Con base en los dos estudios en los que se cuantifican estos sesgos para el modelo BS, podemos suponer que los resultados aquí obtenidos sobrestiman el verdadero costo del capital en una proporción que puede estar entre el 50% y el 100%.

---

[27] Con posterioridad al desarrollo Black-Scholes, se avanzó el tema de fijación de precios de opciones en varias direcciones. De una parte, Merton (1976) consideró el caso en el que el precio de la acción no es un proceso continuo, sino que tiene cambios abruptos, con distribución probabilística de Poisson. Con lo anterior se introduce una fuente adicional de riesgo. De otra parte, Hull y White (1987) introducen una volatilidad estocástica, ya que la del modelo BS original es determinística. En el trabajo original de estos autores la volatilidad era función del precio. En estos modelos alternativos, las expresiones para los precios de las opciones son distintas y más complejas que las de BS.

2. *Verificación del sesgo de la metodología Black-Scholes (BS)*

Hay dos formas de comprobar la existencia del sesgo del modelo BS, documentado en la literatura internacional antes citada, para nuestro caso: de una parte, se puede aprovechar la relación de paridad entre el put y el call (put-call parity) para ver qué tan distante se encuentra el precio estimado de ella. En segunda instancia se puede estimar el precio del call con un modelo alternativo, a costa de mayor complejidad, y se puede examinar la relación entre el precio proyectado por ambos modelos.

a. La relación de paridad put-call (put-call parity)

Basándose en la idea de que los mercados funcionan eficientemente y por lo tanto no existen posibilidades de arbitraje, se puede demostrar que la siguiente relación de paridad debe cumplirse (Hull, 1993 pg. 163)

$$c + Xe^{-rT} = p + S \qquad (21)$$

Esta ecuación establece que el valor de un call con un precio de ejercicio cierto puede derivarse del precio del put con el mismo precio de ejercicio y plazo de vencimiento.

Puesto que el precio del put (europeo) viene dado por la ecuación (14) (Hull, op.cit. pg. 225)

$$p = Xe^{-rT} N(-d_2) - SN(-d_1) \qquad (22)$$

procedemos a derivar el precio implícito del call en la relación de arbitraje. Dicho ejercicio se hizo para cada uno de los sectores reportados en el cuadro y en todos, el precio del call implícito fue menor que el precio calculado por la fórmula BS directamente. La relación entre ambas variables tuvo un promedio de 0,85 con una desviación estándar de 0,19, cuando se tomaron los datos correspondientes a 1996. Para 1995 los dos estadísticos fueron 0,85 y 0,15 respectivamente.

b. Modelo de fijación de precios de Cox-Ross

El modelo de Cox-Ross (1976) es una de las variantes del Black-Scholes con la volatilidad estocástica. Se escogió ésta por ser la de más fácil aplicación, y no se entrará a discutir su derivación ni sus supuestos. Los autores suponen que la volatilidad del precio viene dada por $\sigma S^{-\alpha}$, por lo que se conoce como un modelo de elasticidad constante de la varianza (constant elasticity of variance). En el caso particular cuando $\alpha=1$, resulta que el precio del call viene dado por (Hull, pg. 453):

$$c = (S - Xe^{-rT}) N(y_1) + (S - Xe^{-rT}) N(y_2) + v\,[n(y_1) + n(y_2)] \qquad (23)$$

con:

$$V = \sigma \sqrt{\frac{1 - e^{-2rT}}{2r}}$$

$$y_1 = \frac{S - Xe^{-rT}}{v}$$

$$y_2 = \frac{-S - Xe^{-rT}}{v}$$

$$n(y) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-y2/2}$$

Utilizando este modelo de determinación de precios de opciones y al dividirlo por el precio estimado mediante BS, se obtuvo una media de 0,89 para la relación en todos los sectores cuando se hizo el ejercicio para 1996, mientras que para 1995 el estadístico fue de 0,93. Las desviaciones estándar fueron de 0,23 y 0,24 respectivamente.

3. *Ajuste de los resultados por el sesgo en Black Scholes*

Los resultados de la sección anterior no permiten rechazar la hipótesis de que en el presente ejercicio el modelo BS tiende a sobrestimar el precio de la opción. En línea con los resultados de la literatura

internacional, no parecería demasiado arriesgado trabajar con un factor de ajuste del 70%[28], dados los plazos tan largos de las opciones cuyo precio se estima. Al ajustar los cálculos por este factor, resulta una cifra del costo del capital muy parecida a la obtenida mediante la metodología de similares utilizando, bien sea la prima de riesgo del mercado estimada por Mora (1996), o la estimada en el presente trabajo para el año de 1996, en el caso del modelo CAPM. Los resultados se muestran en el Cuadro 19.

De todas maneras, estos resultados deben tomarse con cautela, ya que todos los modelos de fijación de precios de opciones tienen algún problema de especificación en el momento de su aplicación. En algunos casos el problema es más severo que en otros, y para opciones con largo plazo de vencimiento, se ha encontrado (Bakshi, Cao y Chen (1997)) que el modelo que reduce el sesgo es aquél de tasas de interés estocásticas, como el de Merton (1973), no explorado aquí.

D. Comparación de los resultados de las diferentes metodologías

Los resultados de la primera sección de este capítulo indican que en las comparaciones entre diferentes estimativos del costo del capital resulta de fundamental importancia definir el período de análisis, pues los coeficientes y primas de riesgo son variables en el tiempo. En el Cuadro 20 se realizan comparaciones entre los estimativos obtenidos de las diferentes metodologías, en dos horizontes temporales completamente distintos.

El primer horizonte (Cuadro 20 A) es de corto plazo y utiliza los resultados para el año de 1996. En

[28] Implícitamente se supone que en todos los sectores se presenta el mismo sesgo.

Cuadro 19. COSTO DEL CAPITAL AJUSTADO POR EL SESGO DEL MECANISMO BLACK SCHOLES (Tasas nominales)

Sector	Costo del capital ajustado
Agrícola	45,4
Fondos ganaderos	49,4
Extracción de petróleo gas y carbón	41,4
Oro y otros minerales no ferrosos	39,0
Alimentos	43,9
Bebidas	45,8
Tabaco	48,8
Textiles y confecciones	40,0
Calzado y otros artículos de cuero	38,7
Madera y corcho	39,1
Papel y pulpa de papel	49,9
Imprentas y editoriales	43,7
Productos químicos y petroquímicos	39,9
Caucho y plástico	42,8
Vidrio y productos de vidrio	40,1
Cemento	46,6
Otros productos minerales	51,0
Siderúrgica	37,7
Metalmecánica	35,7
Sofasa	40,2
Fabricación de productos diversos	43,8
Electricidad	52,7
Distribución de gas y otros combustibles	41,5
Acueducto	28,7
Edificaciones para vivienda	38,6
Obras civiles	34,2
Otras construcciones	54,3
Artículos varios de consumo popular	46,4
Vehículos diversos y repuestos	38,9
Comercialización de otros artículos	46,8
Transporte aéreo	31,3
Transporte terrestre	34,4
Comunicaciones	47,9
Clínicas	49,4
Otros servicios de salud privados	32,5
Hoteles, moteles y similares	53,9
Universidades	41,1
Centrales de abastos	41,9
Centros de convenciones y exposiciones	51,5
Otros servicios ofrecidos por empresas privadas	45,2
Promedio	42,9
Mediana	42,4

Fuente: Cálculos propios.

Cuadro 20A. COMPARACION DE LOS RESULTADOS SOBRE EL COSTO DEL CAPITAL REAL INCLUYENDO LA TASA LIBRE DE RIESGO (Tasas reales 1996)

Sector	Costo real del capital accionario				[1] Costo del pasivo	[2] S/S + B	Costo real total ponderado del capital			
	CAPM	APT	Similares CAPM	Opciones			CAPM	APT	Similares CAPM	Opciones
Bebidas	54,96	72,70	24,58	21,92	11,29	57,04	36,20	46,32	18,87	17,35
Tabaco	45,85	43,94	18,66	24,45	11,12	63,72	33,25	32,03	15,93	19,62
Textiles y confecciones	37,99	25,49	28,56	17,09	14,55	56,06	27,69	20,68	22,40	15,98
Papel y pulpa de papel	25,91	30,24	26,09	25,37	15,39	52,60	20,92	23,20	21,01	20,64
Productos químicos y petroquímicos	22,73	43,38	31,63	16,95	13,38	51,95	18,24	28,97	22,86	15,23
Siderúrgica	41,30	40,54	33,40	15,13	12,54	54,50	28,21	27,80	23,91	13,95
Artículos varios de consumo popular	50,49	57,54	26,48	22,40	10,45	56,37	33,02	37,00	19,49	17,19
Transporte aéreo	30,24	32,89	57,18	9,82	13,59	57,61	23,18	24,71	38,70	11,42
Bancos	44,97	45,89	26,85		12,88	17,00	18,33	18,49	15,25	10,69
Seguros	59,96	60,28	25,55		12,88	50,00	36,42	36,58	19,21	6,44
Promedio entre sectores	41,44	45,29	29,90	19,14			27,55	29,58	21,76	14,85
Coeficiente de variación entre sectores	29,76	32,31	34,73	27,74			25,70	28,96	30,26	29,27

[1] Calculado con base en el mecanismo de precios de opciones.
[2] B: pasivos; S: patrimonio.
Fuente: Cálculos propios.

Cuadro 20B. COMPARACION DE LOS RESULTADOS SOBRE EL COSTO DEL CAPITAL REAL INCLUYENDO LA TASA LIBRE DE RIESGO (Tasas reales, largo plazo)

Sector	Costo real del capital accionario				[1] Costo del pasivo	[2] S/S + B	Costo real total ponderado del capital			
	CAPM	APT	Similares CAPM	Opciones			CAPM	APT	Similares CAPM	Opciones
Bebidas	22,52	29,24	15,28	23,57	12,80	57,04	18,34	22,17	14,21	18,94
Tabaco	18,77	26,78	11,71	26,14	12,63	63,72	16,54	21,64	12,04	21,24
Textiles y confecciones	22,27	22,74	17,68	18,68	16,10	56,06	19,56	19,82	16,99	17,55
Papel y pulpa de papel	14,28	13,23	16,18	27,07	16,95	52,60	15,54	14,99	16,55	22,27
Productos químicos y petroquímicos	11,46	12,85	19,52	18,53	14,92	51,95	13,12	13,84	17,31	16,79
Siderúrgica	19,43	22,69	20,60	16,69	14,07	54,50	16,99	18,77	17,63	15,50
Artículos varios de consumo popular	24,30	34,93	16,42	24,05	11,95	56,37	18,91	24,90	14,47	18,77
Transporte aéreo	19,04	30,56	34,93	11,31	15,13	57,61	17,38	24,02	26,54	12,93
Bancos	19,66	24,28	16,64		14,41	17,00	15,30	16,09	14,79	
Seguros	19,45	27,94	15,86		14,41	50,00	16,93	21,17	15,13	
Promedio entre sectores	19,12	24,52	18,48	20,76			16,86	19,74	16,57	18,00
Coeficiente de variación entre sectores	19,96	28,97	33,87	25,93			11,22	19,12	23,54	16,78

[1] Calculado con base en el mecanismo de precios de opciones.
[2] B: pasivos; S: patrimonio.
Fuente: Cálculos propios.

realidad, es de esperarse que los coeficientes de riesgo de Fama y French (1997) no sean los apropiados para ese año, por las razones expuestas en una sección anterior, pero resulta de interés evaluar qué tan grande es la diferencia cuando se aplica a horizontes temporales diferentes a aquellos para los cuales se estimaron los coeficientes de riesgo. Los estimativos del costo del capital accionario de los modelos CAPM y APT son los mismos de los Cuadro 7 y 14, pero aumentados en el valor de la tasa libre de riesgo de ese año (9,19% real, en promedio). El correspondiente a la metodología de similares (con el modelo CAPM) es igual al del Cuadro 16B, pero usando una prima de riesgo del 16.2% real, según los resultados para ese año que se mostraron en el Cuadro 6. El costo real de los recursos de crédito se estimó a partir de los valores nominales del Cuadro 17A, con una tasa de inflación del IPC sin bienes durables igual a 19.6% (corresponde al promedio de la inflación de ese índice para 1996).

Puede apreciarse una diferencia importante entre los estimativos para 1996 del costo del capital accionario correspondientes al CAPM y los otros tres métodos; en especial, cuando se compara con la metodología del precio de opciones. Como se recordará, ni en la aplicación de la metodología de similares, ni en la de precios de opciones se pudo evaluar explícitamente cómo cambiaba el costo del capital accionario en el tiempo. De otra parte, la validez global del modelo APT versión Fama-French fue reachazada para la economía colombiana. Por lo tanto, como era de esperarse, los resultados obtenidos de los cuatro diferentes tipos de estimativos presentan diferencias importantes en un horizonte de corto plazo.

El segundo horizonte temporal de comparación de los resultados es de largo plazo, y los resultados para dicho horizonte se muestran en el cuadro 20B. Para obtener los resultados que se muestran en ese cuadro se tomó una tasa de inflación esperada del 18%; una tasa libre de riesgo del 6% real anual; y una prima de riesgo del 9.765% real anual; valores estos que pueden considerarse como esperados en el largo plazo. Adicionalmente, se supuso que la similaridad de los resultados obtenidos de la metodología de opciones entre 1996 y 1995 se mantendría en períodos más largos de tiempo, razón por la cual podrían compararse con estimativos de largo plazo[29]. Puede apreciarse que los resultados obtenidos de la estimación del modelo CAPM en todo el período muestral 1992.01-1997.12 son muy semejantes a los del método de similares-CAPM; así como a los obtenidos del método de opciones.

Lo anterior indica que las diferencias entre los resultados de las tres metodologías son mucho menores en estimativos de largo plazo, que en estimativos para horizontes temporales cortos. Infortunadamente, la evidencia sobre los importantes cambios que experimenta el costo del capital en coyunturas de corto plazo, así como la necesidad de estimar dicho costo para la evaluación de proyectos de inversión, llaman la atención sobre la relevancia de las metodologías que ofrecen una cierta flexibilidad para realizar estimativos periódicos del costo del capital. Desde este punto de vista, un vez recolectada y procesada la información histórica básica, claramente la metodología de estimación de modelos de valoración de activos de riesgo, tales como el CAPM, o el APT en sus diversas versiones, ofrece ventajas incuestionables.

IV. CONCLUSIONES

En relación con los trabajos realizados sobre el tema en el país, el presente estudio profundizó en tres direcciones. En primer lugar, se aplicaron si-

[29] Este es un supuesto que debe revisarse cuando se disponga de información de balances para períodos más largos de tiempo.

multáneamente diferentes metodologías para la estimación del costo del capital. En segundo lugar, se evaluó la estabilidad de los factores de riesgo a lo largo del tiempo. En tercer lugar, se analizó el efecto de la estructura tributaria sobre el costo del capital. No obstante, por razones de espacio los resultados sobre esta última parte no se reportaron en esta publicación, pero se encuentran disponibles a solicitud del interesado en la Superintendencia de Valores.

Las metodologías aplicadas para la estimación del costo del capital fueron tres: la estimación de los modelos CAPM y APT; el método de similares; y el método de opciones. Cuando se aplicaron a los distintos sectores económicos de la muestra de empresas de la Superintendencia de Valores, arrojaron resultados similares, para horizontes temporales de mediano o largo plazo. En el corto plazo, las distintas metodologías producen estimativos diferentes del costo del capital.

La estimación del costo del capital accionario mediante la metodología estándar del CAPM produjo unos valores del coeficiente beta más altos que los estándares internaciones. Igualmente, se encontró una prima de riesgo del mercado del orden del 10% en términos reales, para un horizonte de mediano plazo (1992.01-1997.12). Si bien este parámetro es más alto que el utilizado en mercados más eficientes y desarrollados como el de los Estados Unidos, se comprobó la tendencia decreciente del mismo desde 1992, cuando Colombia acentuó su proceso de integración financiera con el resto del mundo.

Tanto los coeficientes de riesgo, como la prima de riesgo en el modelo CAPM resultaron ser altamente variables en el corto plazo. De ahí la importancia de revisar los estimativos periódicamente, dependiendo del horizonte para el cual se evalúa la viabilidad del proyecto o empresa, cuando se aplican estos resultados a la evaluación de proyectos de inversión.

Anexo 1. RELACION ENTRE LOS INGRESOS OPERACIONALES Y EL TOTAL DE INGRESOS POR SECTORES

Sector	Relación (%)
Agrícola	90,0
Fondos ganaderos	81,0
Extracción de petróleo gas y carbón	73,0
Oro y otros minerales no ferrosos	83,0
Alimentos	93,0
Bebidas	80,0
Tabaco	81,0
Textiles y confecciones	89,0
Calzado y otros artículos de cuero	93,0
Madera y corcho	96,0
Papel y pulpa de papel	90,0
Imprentas y editoriales	95,0
Productos químicos y petroquímicos	94,0
Caucho y plástico	91,0
Vidrio y productos de vidrio	91,0
Cemento	74,0
Otros productos minerales	88,0
Siderúrgica	91,0
Metalmecánica	93,0
Sofasa	97,0
Fabricación de productos diversos	96,0
Electricidad	86,0
Distribución de gas y otros combustibles	95,0
Acueducto	96,0
Edificaciones para vivienda	85,0
Obras civiles	93,0
Otras construcciones	91,0
Artículos varios de consumo popular	98,0
Vehículos diversos y repuestos	91,0
Comercialización de otros artículos	81,0
Transporte aéreo	94,0
Transporte terrestre	77,0
Comunicaciones	84,0
Clínicas	93,0
Otros servicios de salud privados	88,0
Hoteles, moteles y similares	96,0
Universidades	87,0
Centrales de abastos	81,0
Centros de convenciones y exposiciones	92,0
Otros servicios ofrecidos por empresas privadas	94,0
Promedio	89,0
Mediana	91,0

Fuente: Cálculos propios.

BIBLIOGRAFIA

Bakshi, G. C. Cao y Z. Chen (1997), "Empirical performance of alternative options pricing models", *The Journal of Finance*, 52, 5, December, pp 2003-2049.

Black, F. Y M. Scholes (1973), "The pricing of options and corporate liabilities", *Journal of Political Economy*, 81, pp.637-659.

Black, F.(1974), "International capital market equilibrium with investment barriers", *Journal of Financial Economics*, 1, 4, pp.337-352

Bradley, M. G. Jarrell y H. Kim (1984), "On the existence of an optimal capital structure: theory and evidence", *The Journal of Finance*, 39, 3, July, pp.857-878.

Copeland, T., T. Koller y J. Murrin (1990), *"Valuation: Measuring and Managing the Value of Companies*, John Wiley & Sons".

Copeland, T. F. Weston (1988), *Financial Theory and Corporate Policy*, Tercera edición, Addison Wesley Publishing Company.

Corporate Finance (1994), "Building the best balance sheet", Cover Story, March.

Cox,J. y S. Ross (1976), "The valuation of options for alternative stochastic processes", *Journal of Financial Economics*,3, marzo, pp. 145-166.

Easterly, W. y S. Rebelo (1993), "Marginal income tax rates and economic growth in developing countries", *European Economic Review*, 37, pp.409-417.

Ehrhardt, M. (1994), *"The Search for Value: Measuring the Company´s Cost of Capital"*. Harvard Business School Press.

Fama, E. (1991), "Efficient Capital Markets: II", *The Journal of Finance*, Vol. xiv, No.5, 1991.

Fama, E, y K. French (1997), "Industry costs of equity", *Journal of Financial Economics*, 43, pp. 153-193

Fuller, R. y S. Kerr (1981), "Estimating the divisional cost of capital: an analysis of the pure play technique", *The Journal of Finance*, 36, 5, pp.997-1009

Gombola, M. D. Kahl (1990), "Time series processes of utility betas: implications for forecasting systematic risk", *Financial Management*, 19, 3, pp. 84-93

Gonzalez, P., L. Serrano y T. Tsiopoulos (1994), "Inflation, taxation and capital markets: issues for latin America". Mimeo.

Graham, J. (1996) "Proxies for the corporate marginal tax rate", *Journal of Financial Economics*, 42, pp.187-221.

Harris, M. y A. Raviv (1991), "The theory of capital structure", *The Journal of Finance*, 46, pp297-355.

Hill, N. y K. Stone (1980), "Accounting betas, systematic operating risk and financial leverage: a risk-composition approach to the determinants of systematic risk", *Journal of Financial and Quantitative Analysis*, 15, 3, pp.595-637.

Hsia, C. (1981), "Coherence of the modern theories of finance", *Financial Review*, Winter, pp.27-42.

Hsia, C. (1991), "Estimating a firm´s cost of capital: an option pricing approach", *Journal of Business Finance and Accounting*, 18, 2, January, pp. 281-287.

Hull, J.(1993), *"Options, Futures and Other Derivative Securities"*, Second edition. Prentice Hall.

Hull, R. y A. White (1987), "The pricing of options on assets with stochastic volatilities", *The Journal of Finance*, 42, June, pp.281-300.

Ibbotson, R. y R. Sinquefield (1989), *"Stocks, Bonds, Bills and Inflation: Historical Returns (1926-1987)"*, The Financial Analysts Research Foundation.

La Porta, R., F. Lopez-de-Silanes, A. Shleifer, R. Vishny (1996), "Law and finance", NBER Working Paper 5661, julio.

La Porta, R., F. Lopez-de-Silanes, A. Shleifer, R. Vishny (1997), "Legal determinants of external finance", *The Journal of Finance*, 52, 3, pp.1131-1150.

Long, M. y I. Malitz (1986), "The investment financing nexus: some empirical evidence", *The Revolution in Corporate Finance*, ed. J. Stern and D. Chew., Basil Blackwell.

MacBeth, J. y L. Merville (1979), "An empirical examination of the Black Scholes call option pricing model", *The Journal of Finance*, 34, 5, December, pp.1173-1186.

Mandelker, G. y G. Rhee (1984), "The impact of the degree of operating and financial leverage on the systematic risk of common stock", *Journal of Financial and Quantitative Analysis*, 19, 1, pp.45-57.

Mayer, C. "Financial systems, corporate finance and economic development", Asymmetric Information, *Corporate Finance and Investment*, ed. G. Hubbard, The University of Chicago Press.

Merton, R. (1973), "Theory of rational option pricing". *Bell Journal of Economics and Management Science*, 4, Spring, pp.141-183.

Merton, R. (1976), "Option pricing when underlying stock returns are discontinuous", *Journal of Financial Economics*, 3, march, pp. 125-144.

Merton, R.(1990), *"Continous Time Finance", Blackwell.*

Miller, M. (1977), "Debt and taxes", *Journal of Finance*, 32, 2, pp.261-275.

Modigliani, F. y M. Miller (1963), "Corporate income taxes and the cost of capital", *American Economic Review*,53,3, pp.433-443.

Mora, H. (1996), "Valoración de activos en mercados con restricciones de liquidez", *Ensayos sobre Política Económica*, 29, junio.

Myers, S. (1984), "The capital structure puzzle", *The Journal of Finance*, 39, 3. Pp. 575-592.

Myers, S. y N. Majluf (1984), "Corporate financing and investment decisions when firms have information investors do not have", *Journal of Financial Economics*, junio, pp.187-221.

Patterson, C. (1995), *The Cost of Capital*, Quorum Books.

Rajan, R. Y L. Zingales (1995), "¿What do we know about capital structure? Some evidence from international data", *The Journal of Finance*, 50, 5, December, pp. 1421-1460.

Renault, E, (1997), "Econometric models of option pricing errors", *Advances in Economics and Econometrics: Theory and Applications*, vol. III, ed. D. Kreps y K. Wallis, Cambridge University Press.

Shapiro, A. y S. Titman (1986), "An integrated approach to corporate risk management"; *The Revolution in Corporate Finance*, ed. J. Stern and D. Chew., Basil Blackwell.

Stulz, R. (1981), "A model of international asset pricing", *Journal of Financial Economics*, 9, 4, pp.383-406.