Rodolfo Páez

Licenciado en Economía (U.B.A.) - Magister en Dirección de Empresas (U.A.D.E. Business School)

Director de la Carrera de Comercio Internacional (UdeMM).

Optimización de la inversión en buques mercantes

Resumen

Uno de los temas de interés de la economía marítima es el de la optimización de inversión en buques. Dentro de este campo, la obtención de un buque óptimo, adecuado para la operatividad prevista con el mismo y que implique para la empresa armadora una inversión rentable, se ha tornado un análisis necesario en etapas de evaluación a nivel de prefactibilidad o factibilidad de cualquier proyecto. El alto costo de inversión y el objetivo de crear valor que debe perseguir la empresa lo ameritan. Por otra parte, y también en la consecución de este objetivo, la determinación de la vida útil de un buque, a los efectos de prever su conveniente reemplazo, se constituye en un tema de sumo interés para la firma. En este trabajo, ambos aspectos, buque óptimo y optimización de su vida útil, son tratados con una visión práctica. En tal sentido, en primer lugar se analiza el instrumento fundamental para lograr el objetivo de la empresa: el costo promedio ponderado de capital en el sector naviero, facilitando con ejemplos, su aplicación particularmente en países emergentes o con un mercado de valores poco desarrollado. Posteriormente se aplica este instrumento a modelos de determinación del buque óptimo y de su vida útil.

1. Optimización y objetivo financiero de la empresa

En el III Congreso Iberoamericano de Ingeniería Naval, realizado en 1982 en la ciudad de Madrid, España, Chorro Oncina presentó un trabajo titulado "Variaciones sobre un Tema de Optimización en la Explotación del Buque". En dicho trabajo, sostiene que con el término "optimización" se designan "las técnicas que se aplican a la búsqueda de los valores de una o más variables, sobre las que tenemos libertad de acción, para que otra variable con la que se define el objetivo, que depende de las anteriores y sobre otras sobre las que no podemos actuar, alcance un valor máximo o mínimo".

Según esta definición, un valor óptimo debe ser determinado o establecido en relación a un determinado objetivo. En nuestro caso el objetivo debemos referirlo a la empresa, particularmente naviera.

El objetivo de una empresa consiste en la creación de valor para todos los que intervienen en ella de una manera directa o indirecta. Una firma, debe tender a desarrollar una actividad al servicio de la sociedad y generar rentas suficientes que satisfagan a todos los que la integran o intervienen en ella, dentro de un marco de responsabilidad social y de congruencia con la dignidad de las personas.

Para ello, los objetivos de todas las áreas funcionales de una empresa deben ser congruentes con dicho objetivo final. En nuestro caso, nos concentraremos en el objetivo del área correspondiente a la dirección financiera. Suele definirse como objetivo de esta área, lograr el mayor valor de mercado posible para el patrimonio de los que aportan capital de riesgo, los accionistas. Dicho así, el objetivo financiero queda formulado en relación con la renta residual atribuible a los accionistas, maximizada respetando los condimentos éticos antes mencionados para el objetivo final de una empresa.

La empresa, para alcanzar el objetivo financiero desarrolla tres tipos de políticas: política de inversiones, política de financiación y política de dividendos. Las tres políticas se encuentran interrelacionadas. Luego, deben ser combinadas óptimamente de tal manera de lograr el mayor valor de mercado de las acciones de la firma y con ello cumplir con el objetivo financiero.

El instrumento que permite la obtención de una combinación óptima de las políticas es el que definiremos como "Costo Promedio Ponderado de Capital", conocido con las siglas de su expresión en inglés WACC (Weigh Average Cost of Capital) es decir una combinación ponderada de las fuentes de financiamiento de la empresa, el costo del endeudamiento y el rendimiento o costo del capital de riesgo o recursos propios.

$$WACC = Ke\frac{E}{E+D} + Kd(1-t)\frac{D}{E+D} \quad (1)$$

Donde: Ke = Costo de los recursos propios de la empresa
E = Recursos propios del financiamiento de la empresa (Equity)
D = Deuda de la empresa
Kd= Costo de la deuda
t = Tasa de impuesto a la ganancia de la empresa.

Las fuentes de financiamiento de una empresa se suelen dividir en Deudas (D) y Recursos Propios (E):

- Deudas: se observan en el Pasivo: préstamos financieros, obligaciones comerciales onerosas, obligaciones negociables, debentures y otras colocaciones.
- Recursos Propios: se observan en el Patrimonio Neto: Acciones ordinarias.
  Entre los recursos propios también pueden incluirse Reservas y Acciones Preferidas. En el caso de las Reservas, su costo suele considerarse igual al de las acciones ordinarias, definido como un costo de oportunidad de que la empresa retenga beneficios. En el caso de las Acciones Preferidas, según impliquen o no riesgo para la empresa se pueden considerar como Recursos Propios o como Deuda.

La combinación apropiada entre Deuda y Recursos Propios suele definirse:

- Teóricamente como "estructura óptima de capital", es decir como la mezcla de las fuentes de deuda y recursos propios que minimiza el WACC o maximiza el valor de la empresa. Al respecto, se han desarrollado diversos enfoques teóricos (Tradeoff theory, Peccking Order theory, Free Cash Flow theory, Modelo de Franco Modigliani y Merton Miller, entre otros), pero todos ellos muestran ciertas debilidades que no permiten una generalización.
- En forma práctica como "decisión estratégica de capital de la firma". La empresa puede partir del resultado óptimo de un modelo teórico, pero en última instancia la decisión de estar en un determinado nivel de endeudamiento es una decisión gerencial y de planeamiento financiero.

De cualquier manera, es importante conocer el punto óptimo teórico para contemplar la brecha de manejo de endeudamiento que se tiene.

Teóricamente, y desde el punto de vista de la rentabilidad, cuanto más endeudada, sin límite esté la empresa tanto más alto será su valor de mercado y también más elevado será el valor de las acciones que queden al disminuir su participación en la estructura de financiamiento.

No obstante ello, las empresas saben que no pueden o no deben rebasar un cierto límite de deuda. Ello, pues de hacerlo los suministradores de este tipo de recursos, en caso de necesidad, se negarán a proveerles fondos adicionales. Por otra parte, de, superar dicho límite aumenta su riesgo financiero. En definitiva, cada empresa atendiendo rentabilidad y riesgo debe determinar su adecuada estructura de capital.

1. Costo de los recursos propios, WACC y el sector naviero: el modelo CAPM (Capital Asset Pricing Model)

En la expresión (1), del WACC, uno de sus componentes es el "Costo de los Recursos Propios". Uno de los modelos más usados para su cálculo es el CAPM, de valuación de activos de capital.

El modelo CAPM, se fundamenta en una teoría sobre los precios de equilibrio de los mercados de activos riesgosos. Su desarrollo, a partir del modelo de Harry Markowitz (1952) sobre la "Teoría de la Cartera", se vincula con los nombres de William Sharpe (1964), John Litner (1965), Jan Mossin (1966) y Fischer Black (1972). En 1990, precisamente por el desarrollo del modelo, William Sharpe, conjuntamente con Harry Markowitz y Mearton Miller, recibió el Premio Nobel de Economía.

Para comprender este modelo, es importante mencionar algunas definiciones.

- El riesgo de un activo real o de un activo financiero se define como la variabilidad esperada de los flujos de fondos que genera y por lo tanto de sus posibles rendimientos. El riesgo se encuadra en el campo de lo aleatorio, resultando medible mediante el cálculo probabilístico.
- Una medida común del riesgo de un activo es la "volatilidad". La volatilidad de un activo, como por ejemplo de las acciones ordinarias de una empresa, se relaciona con el intervalo de sus posibles rendimientos y por sus correspondientes probabilidades de ocurrencia. La volatilidad del rendimiento de un activo será mayor cuanto mayor sea la diversidad de resultados posibles y cuanto más alta sea la probabilidad de que ocurran sus valores extremos.
- Para medir la volatilidad de un activo suelen emplearse dos "características" de una variable aleatoria: la "varianza" y el "desvío estándar o desviación típica":

$$\partial^2 = \sum_{i=1}^{n} pi(ri - r)^2 \quad (2)$$

$$\partial = \sqrt{\sum_{t=1}^{n} pi(ri - r)^2} \quad (3)$$

Donde: ∂^2 = *Varianza*
∂ = Desvío Estándar
ri = Tasa de rendimiento posible "i"
r = $\sum_{i=1}^{n} pi\ x\ ri$ = Tasa media de rendimiento = Esperanza matemática
pi = Probabilidad de ocurrencia del rendimiento "i"

Cuanto mayor es el desvío estándar, mayor es la volatilidad.

- Hay activos que se definen como "no riesgosos o libres de riesgo". Suele decirse que estos son los que ofrecen una tasa de rendimiento absolutamente predecible en función de la unidad de cuenta adoptada para el análisis y la extensión del horizonte de planeamiento decisorio del inversionista.
- Las decisiones de inversión son afectadas por diversos riesgos, los que pueden conjuntarse en dos grupos:

a) Riesgos específicos o no sistemáticos o diversificables: son aquellos que surgen como consecuencia de variaciones de los flujos de fondos de una empresa por causas que le son específicas. Estas causas sólo afectarán a dicha empresa. Estos riesgos son susceptibles de eliminación o mitigación mediante una diversificación en diferentes inversiones. Ejemplos de estos riesgos son los económicos, los financieros y los del crédito.

b) Riesgos no diversificables o sistemáticos: se deben a contingencias generales que afectan a todos los activos, se relacionen o no con una empresa en particular. Pueden reducirse en algo mediante la diversificación, pero nunca eliminarse. Ejemplos de estos riesgos son los derivados de la inflación, el interés y el de cambio.

- Una cartera de activos se dice que es "eficiente" cuando ofrece al inversionista la mayor tasa esperada de rendimiento. Se obtiene mezclando dos tipos de activos: uno libre de riesgo y una combinación óptima de activos riesgosos.
- En el modelo CAPM, se supone que todos los inversionistas suelen comportarse óptimamente, coincidiendo en sus expectativas respecto de las tasas esperadas de rendimiento, el desvío estándar y el grado de correlación entre los activos riesgosos. Luego, mantendrán activos riesgosos en las mismas proporciones relativas. Cada inversionista mantendrá en su cartera una proporción de activos riesgosos igual a la de la "cartera del mercado".
- La "cartera del mercado" es definida como aquella que contiene los activos de mercado en proporción a los valores que se observan en el. Su composición refleja las existencias de los activos del momento de que se trate valuados a su precio vigente en el mercado.
- Según el modelo CAPM, a los inversionistas se los "premia" con un mayor rendimiento esperado por el solo hecho de correr el riesgo de mercado para obtener una cartera eficiente, es decir premia el riesgo sistemático.

Ahora, podemos incursionar en el modelo CAPM. Según William Sharpe:

$$\partial_x^2 = \beta_x^2 \partial_M^2 + \partial_\varepsilon^2 \qquad \text{1ª Ecuación de Sharpe (4)}$$

Donde: ∂_x^2 = Riesgo total del activo "x", a través de la varianza de sus rendimientos.

β_x^2 = Coeficiente de volatilidad del activo "x". Indica como varía el rendimiento del activo frente a una variación determinada del rendimiento medio del mercado.

∂_M^2 = Riesgo total del mercado, es decir de la cartera de activos que en el se negocia, a través de la varianza de sus rendimientos.

∂_ε^2 = Riesgo específico del activo, a través de la varianza de los desvíos de los posibles rendimientos con respecto al esperado.

$\beta_x^2 \partial_M^2$ = Riesgo sistemático.

El cálculo de β se realiza mediante una "regresión estadística lineal". Se correlacionan los rendimientos históricos del activo con los del mercado:

$$r_x = \alpha + \beta_x r_M + \varepsilon \qquad (5)$$

Siendo: r_x = Rendimiento del activo "x".

r_M = Rendimiento de la cartera del mercado.

β_x = Coeficiente de volatilidad del activo "x".

ε = Residuo, diferencia entre el valor observado de r_x, para cada valor de r_M, y el valor de r_M dado por la ecuación

Entonces:

$\beta_x \, r_M$ = Rendimiento sistemático.

$\alpha + \varepsilon$ = Rendimiento no sistemático.

Considerando valores medios en (5), la media de ε es igual a cero. Luego la (5) podemos considerarla:

$$r_x = \alpha + \beta_x r_M \qquad (6)$$

En función del desvío estándar, esta dualidad de rendimientos puede ser observada respecto del riesgo:

$\beta_x \partial_M$ = Riesgo sistemático

∂_ε = Riesgo no sistemático = 0.

En cuanto al valor de β_x

$$\frac{Covarianza\ xM}{Varianza\ M} = \frac{\partial_{xM}}{\partial_M^2} \qquad (7)$$

Y el coeficiente de correlación:

$$\rho = \frac{\partial_{xM}}{\partial_x \partial_M} = \frac{Covarianza\ xM}{Producto\ desvíos\ estándar} \qquad (8)$$

Siendo ∂_x y ∂_M y desvíos estándares, ∂_M^2 varianza y ∂_{xM} covarianza:

$$\rho = \beta \frac{\partial_M}{\partial_x} \qquad (9)$$

Este coeficiente puede adquirir valores de +1 a -1, interpretándoselos de la siguiente manera:

Valores de ρ	Rendimientos
>1	En igual sentido
0	No existe relación
<1	En sentido contrario

En lo concerniente a β, sus valores se interpretan del siguiente modo: los activos más volátiles tendrán β superiores a la unidad, es decir que su rendimiento varía más rápido que el del mercado, mientras que los menos volátiles presentarán β menores que la unidad, es decir su rendimiento varía más lentamente que el del mercado.

La segunda ecuación de Sharpe es la denominada "la recta del mercado" (Securities Market Line):

$$r_x = r_f + \underbrace{\beta_x(r_M - r_f)}_{\text{Prima de riesgo}} \quad (10)$$

En la que: r_x = Rendimiento del activo x.
β_x = Coeficiente de volatilidad del activo x.
r_f = Rendimiento del activo libre de riesgo.
r_M = Rendimiento de la cartera del mercado.

Esta última ecuación, es la que nos permite completar la expresión (1) definiendo la variable "Ke":

$$WACC = \{r_f + \beta_x(r_M - r_f)\} \frac{E}{E+D} + K_d(1-t)\frac{D}{E+D} \quad (11)$$

Queda así completado el "Costo Promedio Ponderado de Capital".

En un enfoque práctico para su cálculo podemos proceder de la siguiente manera:

a) Tasa libre de riesgo (r_f): En los mercados de valores en los Estados Unidos de América suele utilizarse como parámetro de un activo libre de riesgo la tasa de mercado efectiva de los títulos del gobierno.

Así el Tesoro de los Estados Unidos emite títulos tales como los Treasury Bills (a 90 días) y los Treasury Notes (a uno, a cinco, a diez y a 30 años). Para considerar la tasa libre de riesgo es conveniente seleccionar el título con un plazo que aproxime la vida útil de la inversión a realizar, en nuestro caso naviera.

b) Volatilidad (β_x): Tal como se ha señalado, este parámetro puede ser calculado, utilizado la estadística matemática, a través de una simple regresión entre los resultados de determinada inversión (en nuestro caso el rendimiento histórico de las acciones ordinarias de la empresa naviera) y los de una cartera de mercado apropiada para el sector.

Sin embargo, para ello suelen aparecer dificultades complejas: por ejemplo, ¿con qué base periódica calcular los resultados, semanal, mensual, anual?, ¿qué debemos hacer si las β_x no son estables temporalmente?, ¿cómo seleccionar la cartera del mercado apropiada, particularmente en mercados de capitales no suficientemente desarrollados?.

Otro problema se refiere al apalancamiento de la empresa, utilización de deuda como parte de su financiamiento. Este apalancamiento afecta los resultados esperados de su acción en el mercado. Cuando las β_x se obtienen por regresión estadística, los resultados que se observan son apalancados del patrimonio de la empresa en cuestión. Así, podemos expresar que la β_x es un promedio ponderado de la beta de la deuda β_d y la beta de las acciones de la firma o beta del equity.

$$\beta_x = \beta_d \frac{D}{D+E} + \beta_e \frac{E}{D+E} \quad (12)$$

Y considerando una empresa apalancada (que se financia con deuda) se puede calcular la β_l, es decir la beta apalancada o beta "leverage" y, si la firma no se financia con deuda, la beta desapalancada, β_u o beta "un leverage". Para ello, consideremos una tasa de impuesto marginal "t".

$$\beta_l = \beta_u \{1 + (1-t)\frac{D}{E}\} \quad \text{apalancada (13)}$$

$$\beta_u = \beta_l / \{1 + (1-t)\frac{D}{E}\} \quad \text{desapalancada (14)}$$

Las betas de las empresas pueden estimarse por una simple regresión, utilizando como resultados del mercado los índices de Standard and Poors 500 o por el NYSE Compositive Index, ambos de los Estados Unidos. Las betas también se pueden obtener de diferentes fuentes en Internet , en libros de betas o en investigaciones especiales.

En lo relativo al negocio naviero, una fuente que se puede consultar en Internet es la de Aswath Damodaran. En ella, para Enero de 2012, sobre la base de 52 empresas marítimas, se obtuvo una beta promedio de 1,40 y una desapalancada de 0,53. El ratio D/E alcanzó el 170,38 %.

Por otra parte, diversos estudios se efectuaron respecto del análisis del riesgo en la actividad naviera en relación con el modelo CAPM. Así, Nolis Kavussanos y Stelios Marcoulis en 1997 publicaron un artículo titulado "Risk Return and Investment Decisions". Consideraron 28 empresas navieras que cotizan sus acciones en el mercado de Valores de New York y para el período Enero 1985 – Diciembre 1994 obtuvieron una beta promedio de 0,92. La mayoría de los valores de las firmas estuvieron por debajo del promedio del mercado, de 1.

Según este estudio, el rendimiento promedio mensual de las empresas fue del 0,99 %, en tanto que el de S & P 500 arrojó 0,85 %. La volatilidad total promedio de la industria, como medida del riesgo, cuantificada por el desvío estándar de los retornos mensuales fue de 8,92 %, valor que supera dos veces al correspondiente al rendimiento del mercado S & P 500 del 4,37 %.

El estudio, observa que el riesgo sistemático en la industria del transporte marítimo no resulta ser mayor que el del promedio del mercado. Pero los rendimientos de la industria contienen una importante porción de riesgo no sistemático.

Las 28 empresas consideradas por Kavussanos y Marcoulis se encuentran clasificadas como transporte por agua, según el Sistema Estándar de Clasificación Industrial de los Estados Unidos. La clasificación se basa en el producto final o servicio. Pero muchas de estas empresas diversifican sus actividades en otros sectores. Es por ello que resulta difícil encontrar empresas navieras "puras", es decir dedicadas exclusivamente a la actividad naviera, sin la incidencia de otras actividades en sus rendimientos.

Entonces, los autores seleccionan en su trabajo, de las 28 consideradas, cuatro empresas "puras", estimándose, para el período Enero 1985 – Diciembre 1994, las siguientes betas: American President (APL): 1,584; International Shipholding: 0,611; OMI Corporation: 1,480 y Over Seas Shipholding Group: 1,139. La beta promedio fue de 1,204.

Otro estudio que es de mencionar, fue el realizado para HSH Corporate Finance de Junio de 2008 por Jens Rohweder, Gregory Tzanakakis y Mathias Wrage, titulado "The Performance of Shipping Investments". Efectúan un análisis por según tipo de carga en el transporte marítimo en el período 1986 – 2007. Consideraron 68 empresas obteniéndose las siguientes betas: buques graneleros: 1,00; buques conteineros: 0,48; buques tanques: 0,90 y buques combinados (petróleo, LPG, LNG): 0,59. El promedio de beta, sin estos últimos arrojó un valor de 0,79.

Un último ejemplo a comentar es el trabajo de Marzo de 2009 efectuado por Wolfang Drobetz, Dirk Schilling y Lars Tegmeier, "Common Risk Factors in the Returns of Shipping Stocks". En el mismo, para el período Enero 1999 – Diciembre 2007, mediante regresión con un solo factor se obtuvieron las siguientes betas: buques graneleros: 0,923; buques conteineros: 1,004; buques tanques: 0,966. Los autores, señalan que estos resultados están en línea con los obtenidos en otros estudios por Kavussanos y Marcoulis (2000) y (2003), alrededor del valor unitario. En el estudio, se presentan otros resultados tales como la aplicación de un modelo multifactor y de un modelo de riesgo económico global. En este último caso las betas obtenidas fueron: buques graneleros: 0,6794; buques conteineros: 0,9659; buques tanques: 0,8641.

c) Prima de riesgo (r_m - r_f): No se observa consenso respecto de la magnitud de la prima de riesgo del mercado ni sobre la manera de cálculo.

Pablo Fernández, profesor de IESE de la Universidad de Navarra, en un excelente artículo, de Septiembre de 2009, titulado "La Prima de Riesgo de Mercado según 100 Libros" recoge la opinión de autores y analiza en cómo entienden el concepto y cómo lo cuantifican.

Según Fernández, existe una confusión en la definición. Pueden mencionarse cuatro concepciones muy diferentes: prima de riesgo del mercado histórica, prima de riesgo del mercado esperada, prima de riesgo del mercado exigida y prima de riesgo del mercado implícita. Sostiene que la que debe utilizarse, para estimar la rentabilidad exigida a las acciones, es la "Prima de Riesgo del Mercado Exigida", entendida como la rentabilidad incremental exigida por un inversor bursátil a una cartera diversificada por arriba de la renta fija de riesgo. En cuanto a su valor, oscila entre el 3 % y el 10 %, con un promedio de 6,6 %.

Por su parte, Aswath Damodaran (2003), determina que el promedio aritmético en el período 1928 - 2000, de los premios por riesgo del mercado, mediante los Treasury Bills fue de 8,41 % y el promedio geométrico de 6,53 %. Considerando los Treasury Notes, dichos promedios fueron de 7,17 % y 5,51 % respectivamente.

2. Un modelo alternativo al CAPM: el Downside CAPM o D-CAPM y el Sector Naviero

Javier Estrada, profesor del IESE, procuró analizar el riesgo a la baja en diversos estudios. Según Estrada, el semidesvío estándar de los rendimientos es una medida más razonable del riesgo que puede ser utilizada en el caso de inversores diversificados (downside beta).

$$\sqrt{1/T \sum_{t=1}^{T}\{Min((R_t - B),0)^2} \quad \text{Para todo } Rt < B \quad (15)$$

Donde: B = Rentabilidad benchmark (estándar de comparación) relevante para un inversor.

R_t = *Rendimiento del activo en el período "t".*

T = Número de observaciones.

t = Período.

En "The Cost of Equity in Emerging Markets: A Downside Risk Approach (II)" (2001), consideró datos del Morgan Stanley Capital, índices de 37 industrias en mercados emergentes para el período Enero 1995 - Diciembre 1999 (Emerging Markets Free EMF index).

Del análisis efectuado por Estrada, resulta interesante observar los resultados obtenidos para las industrias del transporte y en particular la marítima. En materia de betas que contemplen el riesgo sistemático determinó 1,52 para el transporte aéreo; 1,17 para el terrestre (vial y ferroviario) y 0,85 para el marítimo. A su vez, las betas que determinó, según riesgo a la baja (downside beta) son: transporte aéreo 0,89; transporte terrestre 0,33 y transporte marítimo 0,90.

A su vez, estimó el costo del capital propio en el transporte marítimo en: 11,12 % contemplando el riesgo sistemático, 16,22 % con riesgo total y 14,99 % anual con riesgo a la baja.

3. El buque óptimo

H. Nowacki (1970), señala que el proyecto de un buque debe ser efectuado teniendo en cuenta una necesidad funcional (por ejemplo, el transporte de cargas en determinados tráficos) y un conjunto de restricciones de naturaleza técnica, física y jurídica (por ejemplo, estabilidad, resistencia, exigencia de la sociedad de clasificación, etc.) de manera tal de obtener una solución técnica óptima, conforme con un criterio concreto. Agrega que para ello, debe aplicarse al caso del proyecto de buque la idea del análisis de sistemas. Se trata de concluir en el diseño de un buque óptimo.

Diversos estudiosos se han ocupado de señalar un criterio concreto para definir el buque óptimo: G. S. Baker y J. L. Kent (1918), M. Costales (1955), R. D. Goss (1965) y H. Bendford (1965). Algunos, en particular se preocuparon también por un subproblema del buque óptimo, el tamaño: T. Thornburg (1960), H. Bendford (1968), T. Heaver (1968), S. Erichsen (1971), R. D. Goss (1971), P. M. H. Kendall (1972) y J. O. Jansson y D. Shneerson (1978) y J. J. Evans y P. B. Marlow (1990). En realidad el subproblema es parte de la solución del buque óptimo.

De todos ellos, R. D. Goss y H. Bendford fueron quienes se ocuparon más del problema y consideraron para ello la aplicación de criterios de decisión basados en el valor del dinero en el tiempo y en el fluir neto de fondos.

Así, para H. Bendford la alternativa de buque óptimo será aquella que arroje el mayor Valor Actual Neto (VAN). Aplica este criterio cuando resulta posible estimar o conocer los recursos generados o flujos netos de fondos de cada período.

En el caso en que no se conozcan dichos flujos, pero se estiman iguales en las diferentes alternativas de buques a considerar, señala la aplicación de dos criterios: el del Valor Actual de los Costos (PV) y el del Costo Medio Anual (AAC):

Siendo: Io = Inversión inicial
I = Inversión Total
FNF_t = *Flujo Neto de Fondos del Período t*
VR_n = *Valor Residual de la inversión en el período "n"*
WACC = Costo Promedio Ponderado de Capital.
t = Períodos de vida útil (horizonte de planeamiento) de la inversión = 1, 2, 3, 4, ..., n años
C = Costo operativo anual.

Donde: $$FNF_t = R_t - E_t - T_t$$

R_t = Ingresos de Explotación o de operación del período "t"
E_t = Egresos de Explotación o de operación del período "t"
T_t = Impuesto a las ganancias del período "t"

- Se conocen los Flujos Netos de Fondos de cada período: Para cada alternativa de buque se determina el:

$$\text{VAN} = -Io + \sum_{t=1}^{n} \frac{FNF_t}{(1+WACC)^t} + \frac{VR_n}{(1+WACC)^n} \qquad (16)$$

y se selecciona la que arroje el mayor VAN positivo.

Un ejemplo de su aplicación puede observarse en las Tablas No. 1 y 2: Se trata de la selección de un buque, para lo cual se tienen dos alternativas (A yB). En ambas la vida útil es de diez años, el WACC de la empresa es de 15 % anual, la tasa impositiva es del 35 % y en el período (año) diez se adiciona a los ingresos operativos el Valor Residual, fruto de la venta del buque en condiciones de "segunda mano". Del resultado de las Tablas (VAN), se infiere que la alternativa más conveniente es la "A" pues arroja un mayor VAN positivo.

- Flujos Netos de Fondos iguales en las diferentes alternativas de buques: Para cada alternativa se calcula:

Primer criterio:

$$PV = I + \frac{(1+WACC)^n - 1}{WACC\,(1+WACC)^n}\, C \qquad (17)$$

y se selecciona la que arroje el menor PV.

Segundo criterio:

$$AAC = I\, \frac{WACC\,(1+WACC)^n}{(1+WACC)^n - 1} + C \qquad (18)$$

Seleccionándose la alternativa de buque que minimice AAC.

Tabla N° 1: Alternativa "A" de Buque (miles de u$s)

Períodos (años)	Ingresos Operativos	Costos Operativos	Inversión	Impuesto	Flujo Neto	Factor $\frac{1}{(1+WACC)^t}$	Flujo Neto Actual
0	--	--	29.000	--	-29.000	1,000	-29.000
1	15.400	7.500	--	1.715	6.185	0,870	5.381
2	15.400	7.500	--	1.715	6.185	0,756	4.676
3	15.400	7.500	--	1.715	6.185	0,658	4.070
4	14.700	7.600	--	1.435	5.665	0,572	3.240
5	15.400	7.500	--	1.715	6.185	0,497	3.074
6	15.400	7.500	--	1.715	6.185	0,432	2.672
7	15.400	7.900	--	1.715	6.185	0,376	2.326
8	13.800	7.500	--	1.015	4.885	0,327	1.597
9	15.400	7.500	--	1.715	6.185	0,284	1.757
10	24.000	7.500	--	4.725	11.775	0,247	2.908
						VAN =	**2.701**

Tabla N° 2: Alternativa "B" de Buque (miles de u$S)

Períodos (años)	Ingresos Operativos	Costos Operativos	Inversión	Impuesto	Flujo Neto	Factor $\frac{1}{(1+WACC)^t}$	Flujo Neto Actual
0	--	--	28.000	--	-28.000	1,000	-28.000
1	15.100	7.300	--	1.750	6.050	0,870	5.263
2	15.100	7.300	--	1.750	6.050	0,756	4.574
3	15.100	7.300	--	1.750	6.050	0,658	3.981
4	14.000	7.400	--	1.330	5.270	0,572	3.014
5	15.100	7.300	--	1.750	6.050	0,497	3.007
6	15.100	7.300	--	1.750	6.050	0,432	2.614
7	15.100	7.300	--	1.750	6.050	0,376	2.275
8	13.300	8.000	--	875	4.425	0,327	1.447
9	15.100	7.300	--	1.750	6.050	0,284	1.718
10	22.000	7.300	--	4.165	10.535	0,247	2.602
						VAN =	**2.495**

Bendford, agrega una alternativa más, el criterio de la "Tasa de Flete Requerido (RFR). Denominando "Ton" las toneladas estimadas a transportar anualmente, se trata de Seleccionar la alternativa que minimice la siguiente expresión:

$$RFR = \frac{AAC}{Ton} \tag{19}$$

Suponiendo que los Flujos Netos de Fondos son uniformes:

$$RFR = \frac{I\frac{WACC(1+WACC))^n}{(1+WACC)^n-1} + C}{Ton} \tag{20}$$

La expresión (18) considerada por Bendford podemos mejorarla mediante la utilización de un modelo presentado por Drewry Shipping Consultants Ltd. Este modelo nos permite incorporar en la optimización el efecto del financiamiento. Veamos el siguiente ejemplo.

Una empresa armadora desea analizar la construcción de un buque cuyo costo de inversión es de U$S 24.000.000, estimándose que su vida útil económica es de 15 años, que se irá depreciando linealmente y que su valor residual será nulo. La construcción demanda dos años y los pagos al astillero constructor son en cuotas semestrales iguales y consecutivas, previo pago del 20 % a la firma del contrato.

La empresa armadora del buque financia el 80 % restante mediante un préstamo a obtener de una entidad financiera a 8,5 años a amortizar en cuotas iguales de capital semestrales, a partir de la entrega del buque por el astillero, más un costo de financiación equivalente a una tasa del 8 % anual sobre saldos no amortizados. La tasa WACC, Costo Promedio Ponderado de Capital de la empresa armadora se estima en el 10 % anual.

Determinemos primeramente el "Valor Actual del Costo de Inversión" (VACI), según Tablas Nos. 3 y 4.

Tabla Nº 3: Determinación del Capital Neto del Proyecto (miles de u$s)

Períodos (Semestres)	Aporte Propio (1)	Reembolso Capital (2)	Depreciación Acumulada (3)	Capital Neto (1)+(2)-(3)
0	4,800	--	--	4,800
1	--	--	--	4,800
2	--	--	--	4,800
3	--	--	--	4,800
4	--	--	--	4,800
5	--	1,130	0,800	5,130
6	--	1,130	1,600	5,460
7	--	1,130	2,400	5,790
8	--	1,130	3,200	6,120
9	--	1,130	4,000	6,450
10	--	1,130	4,800	6,780
11	--	1,130	5,600	7,110
12	--	1,129	6,400	7,439
13	--	1,129	7,200	7,768
14	--	1,129	8,000	8,097
15	--	1,129	8,800	8,426
16	--	1,129	9,600	8,755
17	--	1,129	10,400	9,084
18	--	1,129	11,200	9,413
19	--	1,129	12,000	9,742
20	--	1,129	12,800	10,071
21	--	1,129	13,600	10,400
22	--	--	14,400	9,600
23	--	--	15,200	8,800
24	--	--	16,000	8,000
25	--	--	16,800	7,200
26	--	--	17,600	6,400
27	--	--	18,400	5,600
28	--	--	19,200	4,800
29	--	--	20,000	4,000
30	--	--	20,800	3,200
31	--	--	21,600	2,400
32	--	--	22,400	1,600
33	--	--	23,200	0,800
34	--	--	24,000	

Un modelo alternativo, consiste en calcular el Valor Actual (VA) de los costos futuros estimados de un plan de reposición del buque. Los costos a considerar, además del correspondiente a la inversión en el buque, son aquellos que dependen del tiempo.
Aceptando esto, es posible demostrar que para minimizar tales costos son aplicables las siguientes reglas:

a) Si el costo de reemplazar el buque cada " n + 1 " años es inferior al costo de hacerlo cada " n " años no hay que reemplazarlo.

b) Si el costo de reemplazar el buque cada " n + 1 " años es superior al costo de hacerlo cada " n " años " hay que reemplazarlo.

Veamos su aplicación. Sean: C_0 el costo de inversión en el buque y C_t los costos que dependen del tiempo. Entonces, puede concebirse en un plan de renovación continua de la inversión que:

$$VA = C_0 + C_1 + \frac{C_2}{(1+WACC)^2} + \frac{C_3}{(1+WACC)^3} + \cdots$$
$$\cdots + \frac{C_n}{(1+WACC)^{n-1}} + \frac{C_0+C_1}{(1+WACC)^n} + \tag{24}$$
$$+ \frac{C_2}{(1+WACC)^{n+1}} + \cdots + \frac{C_n}{(1+WACC)^{2n+1}} + \cdots$$

Esta expresión es equivalente a:

$$VA = \{C_0 + \sum_{t=1}^{n} \frac{C_t}{(1+WACC)^{t-1}}\} + \tag{25}$$
$$+ \frac{1}{(1+WACC)^n}\{C_0 + \sum_{t=1}^{n} \frac{C_t}{(1+WACC)^{t-1}}\} +$$
$$+ \frac{1}{(1+WACC)^{2n}}\left\{C_0 + \sum_{t=1}^{n} \frac{C_t}{(1+WACC)^{t-1}}\right\} + \cdots$$

Sacando factor común:

$$VA = \left\{C_0 + \sum_{t=1}^{n} \frac{C_t}{(1+WACC)^{t-1}}\right\}\{1 +$$
$$+ \frac{1}{(1+WACC)^n} + \frac{1}{(1+WACC)^{2n}} + \cdots\} \tag{26}$$

Es decir, se ha obtenido un producto de un factor común y una serie geométrica convergente. La solución de esta serie es:

$$\frac{1}{1-\frac{1}{(1+WACC)^t}}$$

Reemplazando en (26), se tiene finalmente:

$$VA = \frac{C_0 + \frac{C_t}{(1+WACC)^{t-1}}}{1-\frac{1}{(1+WACC)^t}} \tag{27}$$

Para determinar la vida útil económica del buque, debemos interpretar esta Expresión de la siguiente forma:

a) Si el VA_n es inferior al VA_{n+1} es conveniente reemplazar el buque cada "n" años y no cada "n + 1"

b) Cuando la reposición cada "n" años sea atinente deben verificarse las siguientes desigualdades:

$$VA_{n+1} > VA_n \qquad VA_{n-1} > VA_n$$

Sea el siguiente ejemplo: una empresa armadora ha adquirido un buque en U$S 8.500.000.- Los costos de operación y mantenimiento que dependen del transcurrir de la vida del buque (costos que dependen del tiempo) fueron estimados según se muestran en la segunda columna de la Tabla Nº 5. El WACC es del 10 % anual. Los resultados, por aplicación de la ecuación (27) se presentan en la tercera columna de la misma Tabla.

De la Tabla Nº 5, se infiere que la vida útil económica del buque se estima en 10 años.

Tabla Nº 5 Determinación de la Vida Útil Económica de un Buque

Períodos (años)	Costos Anuales (u$s)	VA en u$s
1	200.000	95.709.571
2	300.000	51.686.233
3	400.000	37.407.680
4	500.000	30.532.934
5	600.000	26.612.345
6	750.000	24.235.166
7	900.000	22.724.866
8	1.100.000	21.793.786
9	1.300.000	21.242.290
10	1.600.000	21.057.033
11	2.700.000	21.521.618

5. Conclusiones

La optimización de la inversión naviera ha sido una de las inquietudes de la economía marítima. Particularmente, ha sido considerada por la ingeniería naval, en muchos casos sin tener en cuenta el valor del dinero en el tiempo. Recién, en los años sesenta Richard Goss y Harry Bendford consideraron este factor incursionando en metodologías de evaluación de proyectos de inversión. Los desarrollos paralelos y posteriores en materia de economía financiera y de las finanzas, permitieron mejorar sus metodologías, particularmente en la consideración del indicador que posibilita la creación de valor por parte de la empresa, el Costo Promedio Ponderado de Capital (WACC), incorporando en este el rendimiento del capital de riesgo a través del modelo de valuación de activos de capital (CAPM).

Los modelos de optimización presentados en este trabajo, recogen esta evolución y se tornan útiles para la toma de decisiones en materia de inversión naviera. Los problemas de practicidad en su aplicación, pueden ser minimizados teniendo en cuenta los patrones guías comentados, particularmente para la consideración del CAPM en países emergentes o con mercados financieros no suficientemente desarrollados.

Bibliografía

Termes, Rafael, Inversión y Coste de Capital, McGraw Hill, España 1999.
Brealey, Richard A.; Myers, Stewart C.; Allen, Franklin, Principios de Finanzas Corporativas, McGraw Hill, España, 2006.
Park, Chan S.; Sharp-Bette, Gunter P., Advanced Engineering Economics, John Wiley & Sons Inc., Singapore, 1990.
Stopford, Martin, Maritime Economics, Routlege Taylor & Francis Group, London, 2009.
Evans John. & Marlow Peter, Quantitative Methods in Maritime Economics, Fairplay Publications Ltd. London, 1990.
Drewry Shipping Consultants Ltd., Fincing Ships - The Challenge of the 1990's, Drewry, 1989.
Damodaran Aswath, Betas by Sector, January 2012, http//pages.stern.nyu.edu/-adamodar/New_Home Page/datafile/Betas.html.
Kavussanos, Manolis, Risk, Return and Investment Decisions, Lloyd Shipping Economist, London, 1997.
Rohweder, Jean; Tzanakis, Gregory; Wrage, Mathias, The Performance of Shipping Invesments, HSH Corporate Finance, Vol. 1, Hamburg, 2008.
Drobetz, Wolfang; Schilling, Dirk; Tegtmeier, Lars, Commo Risk Factors in The Returns of Shipping Stocks, Hamburg, 2009.
Estrada, Javier, The Cost of Equity in Emerging Markets: A Dowside Risk Approavh (II), IESE, Barcelona, 2001.
Estrada, Javier, Mean-Semivariance Behavior (II): The D-CAPM, IESE, Barcelona, 2003.
Fernandez, Pablo, La Prima de Riesgo del Merado según 100 Libros", IESE, Barcelona, 2009.
Bendford, Harry, Principles of Engineering Economy in Ship Design, Transactions SNAME, EEUU, 1963.
Bendford, Harry, Fundamentals of Ship Design Economics - Lecture Notes, Ann Arbor, Michigan, 1965.
Goss, Richard, Economic Criteria for Optimal Shipp Design, Transactions RINA, EEUU, 1965.