

# SELECCION DE INVERSIONES INDUSTRIALES CON BASE EN UN APT DINÁMICO

*Ricardo del Olmo Martínez  
Cesáreo Hernández Iglesias*

**RESUMEN.**—El presente trabajo tiene como objetivo principal, establecer un modelo operativo de selección de inversiones industriales, que integre los modelos de la teoría financiera con los de selección de cartera de productos. De acuerdo con la teoría de valoración fundamental, propuesta por Tobin, este modelo utiliza el intercambio rentabilidad-riesgo, desde la matriz completa de variancias-covariancias.

El criterio de decisión del modelo propuesto es el RI generalizado y valor actual descontado de la rentabilidad. Los cálculos de las rentabilidades esperadas recogen la dependencia de éstas del sector de inversiones en cada uno de los productos y sus cantidades. Por último, las variancias-covariancias se calculan mediante un modelo de arbitraje (APT) a la Ross, recogiendo los factores tanto el riesgo sistemático del sector como de la empresa en el sector, enriqueciendo así los modelos a la Boston.

## 1. INTRODUCCIÓN

En la teoría financiera se supone que la rentabilidad global esperada de la cartera es la suma de las rentabilidades de sus elementos; las rentabilidades siguen caminatas aleatorias; y las variancias de las rentabilidades esperadas pueden así igualarse a las variancias de las propias rentabilidades.

Tales supuestos no se mantienen en la gestión de carteras de productos o en la selección de proyectos. La presencia de sinergias e interdependencias obliga a utilizar modelos más o menos sofisticados para la estimación del vector de rentabilidades y de la matriz de variancias-covariancias de la previsión de rentabilidades.

La idea de que los agentes económicos pueden actuar con aversión al riesgo es una hipótesis de trabajo con hondas y conocidas raíces en muchos modelos económicos. En la literatura sobre el comportamiento de la empresa, tanto desde la perspectiva de la teoría microeconómica como de la dirección estratégica, el riesgo juega un papel central.

Una clase de modelos cercana a nuestro trabajo procede de la economía financiera y tienen como núcleo del parámetro riesgo el sistemático. Cuando los inversores adversos al riesgo actúan minimizando el de sus carteras, pueden aminorarlo por diversificación, excepto el riesgo sistemático de la empresa. Sin duda, el más utilizado de estos modelos es el modelo de valoración de activos (CAPM) y su alternativa, para algunos generalización, modelo APT de Ross (1976). De acuerdo con estos modelos, los gerentes de la empresa usan la información suministrada por el mercado de capitales (bolsa de valores y otros mercados) para decidir qué proyectos de inversión puede acometer la empresa y calcular, en definitiva, las rentabilidades netas de las inversiones, RI.

Resultaría poco sensato suponer que la dirección de la empresa no tiene actitudes frente al riesgo. En concreto, no es realista suponer que como inversores en el mercado de capitales son adversos al riesgo, pero como gestores de su empresa no lo son cuando seleccionan sus proyectos de inversión y administran su cartera de productos. No obstante, es cierto que es difícil materializar en modelos operativos la diversificación del riesgo de las rentabilidades del capital humano en forma de salarios, pluses, opción sobre acciones, etc., ligados, al menos en parte, a la evolución de la propia empresa y a las condiciones del mercado, lo que explica que la preocupación por el riesgo se haya materializado, finalmente, en modelos que utilizan el riesgo total de la empresa (Amihud y Lev, 1981).

A nivel estratégico existen una gran cantidad de técnicas conceptuales y analíticas para determinar la combinación de productos que ofrece la empresa, conocidas como aproximaciones de cartera-producto (CP) <sup>(1)</sup>. A un nivel más táctico encontramos los modelos de selección de proyectos de investigación y desarrollo (I+D) por el método de las puntuaciones, valor actual descontado, así como varios modelos de innovación y planificación tecnológica <sup>(2)</sup>.

Aunque ambas aproximaciones están dirigidas a un distinto nivel de decisión y utilizan diferentes modelos matemáticos, comparten una misma finalidad: resolver el problema de asignación de recursos y proyectos dentro de la empresa. Los modelos para selección I+D pueden adoptar una va-

---

(1) Entre las contribuciones más conocidas citamos las de Drucker (1963), el Grupo Consultor de Boston (BCG) (1970), Little (Wright, 1978) y McKinsey General Electric (Allan, 1979; Wind, 1975; Sheth y Frazier, 1983).

(2) Método de las puntuaciones: Dean y Nishry (1965); Moore y Baker (1969). Valor actual descontado: Moore y Baker (*op. cit.*); Bonini (1975); Fox, Baker y Bryant (1984). Modelos de innovación y planificación estratégica: Utterback y Abernathy (1975).

riedad de formas que van desde programas de reducción de costos a investigación de mercados. Finalmente, incluso este tipo de proyectos pueden relacionarse con la oferta de productos de la empresa para determinar su rentabilidad relativa.

Si el sector real de la empresa ha importado con éxito métodos de la psicología y de la literatura financiera, es una alternativa también formular modelos CP normativos importando los correspondientes de la teoría financiera. Pero ello debe hacerse reconociendo que el rigor lógico y conceptual de los modelos de inversión financiera debe mantenerse en los modelos CP, lo que obliga a un buen número de sustanciales modificaciones.

El modelo que proponemos recoge estas diferencias y se investiga tanto la importancia de la rentabilidad y el riesgo como el impacto de las sinergias e interdependencias en el riesgo interno de la empresa. Utiliza como criterio de decisión los métodos procedentes de la selección clásica de proyectos, RI generalizado y valor actual descontado de la rentabilidad. Por otra parte, los cálculos de las rentabilidades esperadas recogen, explícitamente, la dependencia de aquellas del sector de inversiones en cada uno de los productos y las cantidades de ellos. Por último, las variancias-covariancias se calculan mediante un modelo de arbitraje (APT) a la Ross, recogiendo los factores tanto el riesgo sistemático del sector como de la empresa en el sector, enriqueciendo así los modelos a la Boston.

En nuestra opinión este modelo es incorporable en modelos de planificación estratégica de la empresa con las necesarias adaptaciones. Así por ejemplo, utilizando el plan de marketing estratégico como instrumento, se puede gestionar la empresa bajo riesgo como una cartera de opciones de inversión. También, las salidas de nuestro modelo permitirían, mediante procesos expertos jerárquicos, revelar la aversión al riesgo del conjunto de la empresa corporativa.

En lo que sigue, exponemos las modificaciones necesarias para poder aplicar modelos financieros a decisiones estratégicas con carteras de productos o unidades de negocio. Posteriormente, planteamos el modelo de selección de inversiones o gestión de cartera de productos, que generaliza el método del valor actual neto utilizando como tasa de descuento un modelo de dos índices. Un índice recoge el grado de equilibrio de la cartera y el otro la prima de riesgo del conjunto de la cartera respecto a la del mercado. Terminamos el trabajo con una ilustración de la utilidad del modelo propuesto y resumiendo las conclusiones más interesantes.

## 2. ADAPTACIÓN DE MODELOS CP A DECISIONES DE INVERSIÓN

En la selección de inversiones de nuevos productos o proyectos es necesario incorporar la incertidumbre, más concretamente el riesgo asociado. De lo contrario, los métodos de valoración habituales (VAN, TIR, etc.) con-

ducen a decisiones subóptimas. La pregunta inmediata es ¿si existe evidencia de que los agentes económicos ponderan la rentabilidad con el riesgo conforme debiera ocurrir?

En el mercado de valores, aunque la eficiencia del mercado es cuestionable, no hay duda sobre la relación rentabilidad-riesgo. No obstante, en el ámbito industrial y comercial, los directivos modifican sus líneas de productos y proyectos en base a la rentabilidad esperada sin una evaluación sistemática de los riesgos. Sin embargo, estudios empíricos recientes evidencian que existe intercambio rentabilidad-riesgo, a pesar de que los empresarios no utilicen modelos formales.

En investigaciones empíricas sobre la consideración del riesgo en la planificación estratégica corporativa se trata de contrastar dos cuestiones. En primer lugar, si existe asociación entre rentabilidad y riesgo y las actitudes de la gerencia respecto a éste (Bowman, 1984; Fiegenbaum y Thomas, 1988). La segunda, más ambiciosa, analiza la relación estrategia-comportamiento-resultados (Bettis y Hall, 1982; Bettis y Mahajan, 1985 y Helfat, 1988).

La evidencia resultante es positiva en ambos casos, confirmando la teoría de las valoraciones fundamentales de Tobin (1984).

Por último, en inversiones industriales y de líneas de productos, la diversificación no elimina completamente el riesgo como en los mercados financieros. Chang y Thomas (1989) estudian el impacto de estrategias específicas de diversificación sobre los resultados con decisiones rentabilidad-riesgo, utilizando la base de datos COMPUSTAT y otras auxiliares (Census of Manufacturing and Survey of Manufacturing). Aunque su estudio es estático, encuentran una razonable relación entre rentabilidad y diversificación.

Las referencias anteriores garantizan que el modelo que proponemos para la optimización de decisiones sobre líneas de productos o negocios o inversiones industriales, formal o informalmente responde a las necesidades de los directivos.

En nuestro modelo, la rentabilidad y el riesgo son siempre una base de referencia para las decisiones de inversión, desinversión, y presupuesto de capital en las distintas líneas de productos. La mayor parte de las prácticas actuales siguen basadas o bien en enfoques de organización industrial tradicional, o bien en la versión de planificación estratégica (crecimiento del mercado y cuota, atractivo del negocio y puntos fuertes y débiles, etc.). Si los gestores se sienten cómodos con estas prácticas, aún así será interesante que se percaten del grado en que sus decisiones son eficientes en términos de rentabilidad-riesgo.

## 2.1. ADAPTACIÓN DE LOS MODELOS FINANCIEROS

Los mercados de productos difieren estructuralmente de los mercados financieros al menos en los siguientes puntos:

a) Relación rentabilidad-riesgo. Las rentabilidades de la inversión en productos están afectadas directamente por la cuantía de la propia inversión, particularmente cuando la cartera incluye nuevos productos. Aquí no podemos aceptar el supuesto de que los inversores son tomadores de precios como en los mercados financieros.

b) Control por el inversor. En gestión de carteras de productos no es posible alterarlas de forma infinitamente divisible ni liquidar toda o parte de la cartera sin fricciones. Esto provoca la aparición de barreras de entrada/salida de la cartera.

c) Alternativa de inversión en productos, empresas o valores externos. Es necesario no ser miopes al valorar el conjunto de oportunidades de inversión, de manera que si la rentabilidad-riesgo de una inversión externa a la empresa es superior a la de su cartera interna, la decisión sería la desinversión en la cartera propia y *comprar en vez de fabricar*.

d) Conocimiento específico. Corresponde a la experiencia adquirida en la explotación de productos relacionados (por ejemplo, el cracking en el sector petroquímico), aumentando la rentabilidad vía especialización.

e) Dependencia de las inversiones. La discrepancia más importante en un modelo CP, frente a modelos financieros, es la interdependencia de los productos de la cartera, tanto desde el punto de vista de la demanda como desde el de la oferta.

En el mercado de productos esta interdependencia es universalmente aceptada y ha sido incorporada en los modelos de selección de proyectos I+D (Gear y Cowie, 1980; Utterback y Abernathy, *op. cit.*). Este hecho es reconocido como la base de la propia teoría económica de la empresa desde Coase.

En términos operativos, esta pérdida de aditividad en la rentabilidad implica que el valor presente de un grupo de proyectos es tal que  $PV(A+B+C) \neq PV(A) + PV(B) + PV(C)$ , pues debe incluir los términos cruzados  $PV(AB)$ ,  $PV(ABC)$ , etc.

## 2.2. CARACTERIZACIÓN DEL RIESGO EN MODELOS CP

El riesgo de las inversiones en líneas de productos incluye dos tipos de componentes: una sistemática o de mercado y otra específica de la cartera elegida. Como es bien conocido, la hipótesis de eficiencia del mercado de capitales asegura que el riesgo no sistemático puede ser reducido simplemente por diversificación de la cartera.

En modelos CP el riesgo no sistemático es específico de la empresa y puede ser parcialmente controlado por la dirección estratégica. Sin embargo, este control está limitado por factores tanto productivos como laborales y financieros, precisamente por las sinergias señaladas anteriormente. En la literatura microeconómica (Hirshleifer, 1970 y Mayers, 1972) se discute ya

la naturaleza conjunta de capital humano e inversión como límites a la diversificación. Estas limitaciones a la diversificación deben ser incorporadas en la estructura del modelo inferencial utilizando factores a la APT, para acomodar las rentabilidades y riesgos internos y externos a la empresa.

### 3. DESCRIPCIÓN DEL MODELO BAND CON BASE EN UN APT DINÁMICO

El modelo BAND no utiliza como criterio de decisión la frontera eficiente como los modelos a la Markowitz-Tobin, sino los métodos procedentes de la selección clásica de proyectos, RI generalizado y valor actual descontado de la rentabilidad. Por otra parte, los cálculos de las rentabilidades esperadas recogen explícitamente su dependencia del vector de inversiones en cada uno de los productos y las cantidades de ellos. Finalmente, las variancias-covariancias se calculan mediante un modelo de arbitraje (APT) a la Ross, recogiendo los factores tanto el riesgo sistemático del sector como de la empresa en el sector, enriqueciendo así los modelos a la Boston.

La contribución de un modelo generalizado de inversiones debe hacer énfasis en la interdependencia de una línea de productos. Sin esta interdependencia, la toma de decisiones con CP podría estudiarse desde la teoría general financiera de cartera. Una teoría estratégica más general de inversiones en productos individuales se sustentaría en el impacto marginal de los cambios de las inversiones de productos en el conjunto de los beneficios de la empresa, condicionado al conjunto de inversiones de la misma. En otras palabras, la empresa maximiza sus beneficios sobre el conjunto de  $N$  inversiones internas,  $\mathbf{I}$ , sujeto a una restricción de desarrollo del producto. Esta restricción,  $R\{I_1, \dots, I_N | \Phi(\mathbf{I}), \Xi(\mathbf{I})\}$ , está condicionada al conocimiento específico de la empresa y del sector,  $\Phi(\mathbf{I})$ , y a las economías de producción asociadas con la fabricación de un conjunto de productos,  $\Xi(\mathbf{I})$ , que recogería las interdependencias de oferta y demanda.

Este sistema implica que una generalización de la regla del valor actual neto descontado (VAND) sería válida para la toma de decisiones sobre inversiones por la empresa. Si la empresa es una maximizadora de beneficios, la inversión óptima será la cantidad que maximiza el beneficio total actual neto descontado de ella (BAND), asumido un riesgo. Este criterio BAND aclara un punto importante: como las inversiones no son independientes, la empresa reoptimiza en cada período sus consideraciones sobre inversión en productos. Por lo tanto, la empresa no puede decidir sobre una inversión óptima de productos cuando considera las líneas de productos independientes unas de otras, lo que implica que hay que efectuar un análisis simultáneo del conjunto total de productos y de líneas de producción.

### 3.1. INTERDEPENDENCIA DE PRODUCTOS

Como se desprende de los anteriores comentarios, hay dos tipos de interdependencias de productos: interdependencias de demanda e interdependencias de oferta, concepto, este último, relacionado con las economías de producción.

Las interdependencias de demanda, discutidas en la teoría microeconómica de la demanda, pueden ser de tres tipos e ignorando consideraciones de oferta se definen como:

a) Demanda sustitutiva. Las demandas de dos productos están relacionadas negativamente, es decir, cuando la demanda de un producto crece por cualquier razón, la demanda del otro decrece.

b) Demanda complementaria. Las demandas de dos productos están relacionadas positivamente. Si la demanda de un producto crece, la demanda del otro igualmente crece.

c) Demanda neutra. Las demandas de dos productos son independientes, de manera que cambios en la demanda de uno de los productos no afecta la demanda del otro.

Las interdependencias de oferta, descritas en la teoría microeconómica de producción (ver Baumol, Panzar y Willig, 1982) se clasifican también en tres clases y son, ignorando consideraciones de demanda:

a) Oferta suplementaria. El coste conjunto de fabricar los productos es mayor que la suma de costes al fabricar dichos productos individualmente. La sustituibilidad de la oferta implica la existencia de diseconomías de escala.

b) Oferta complementaria. El coste de fabricar conjuntamente los productos es menor que la suma de los costes de fabricarlos individualmente.

c) Oferta neutra. Los costes conjuntos de fabricación son iguales a la suma de los costes de fabricar los productos individualmente.

Por otra parte, podemos definir una interdependencia global como la relación entre la rentabilidad de un producto y las de los otros. Así tendremos:

a) Complementarios globales. Cuando la rentabilidad esperada de un producto A crece con la inversión en el producto B.

b) Sustitutos globales. Cuando la rentabilidad esperada de un producto está negativamente relacionada con la inversión en el producto B.

c) Neutros globales. La rentabilidad de un producto no está relacionada con la inversión en otro.

En la tabla 1 puede verse como la interdependencia global está relacionada con los conceptos de interdependencia de oferta y de demanda.

*Tabla 1.* INTERDEPENDENCIAS DE OFERTA Y DEMANDA Y SU RELACIÓN CON LA INTERDEPENDENCIA GLOBAL.

		Demanda		
		Complement.	Suplement.	Neutra
OFERTA	Complement.	Global Complement.	?	Global Complement.
	Suplement.	?	Global Suplement.	Global Suplement.
	Neutra	Global Complement.	Global Suplement.	Global Neutra

Aunque para tener en cuenta la interdependencia global descrita haría falta una base de datos muy completa y en general no disponible, existe una salida operativa. Del mismo modo que un modelo APT de cartera financiera recoge, a través de los factores, efectos externos macroeconómicos e internos del propio mercado y del sector, los factores que obtendríamos del vector de rentabilidades observadas también recogerían las interdependencias de oferta y demanda.

### 3.2. GENERALIZACIÓN A LAS INVERSIONES MULTIPRODUCTO

Una vez que se dispone de una estimación de las rentabilidades de la cartera, que será distinta a la mera suma de las rentabilidades de sus componentes, desde el modelo APT y de las variancias-covariancias podemos modificar adecuadamente y generalizar el criterio BAND. A este efecto, comentaremos algunas precisiones sobre la rentabilidad interna, el riesgo y el BAND.

El método más común de medir la rentabilidad de las inversiones es mediante la tasa interna de rentabilidad. Sin embargo, este criterio se usa poco en la práctica y ha sido muy criticado (Devinney, Stewart and Shocker, 1985). Un mejor criterio de rentabilidad se obtiene cuando se hace que los beneficios de la empresa sean una función general de la cantidad vendida e invertida. Supuesto que las empresas compiten de forma perfecta en sus mercados de productos, los beneficios totales,  $\Pi^T$ , serían  $\Pi^T = \Pi(\mathbf{q}, \mathbf{I})$ .

Ignorando el riesgo por el momento, la elección de la inversión óptima de la empresa podría determinarse por:



$$\max_{q,I} \Pi^T = \Pi(q,I),$$

[1]

$$\text{sujeto a } I = \sum_{i=1}^N I_i ; I_i \geq 0, \forall i,$$

siendo  $I$  la inversión total.

Las condiciones de primer orden para tal sistema serán:

$$\frac{\partial \Pi^T}{\partial I_i} = \frac{\partial \Pi^T}{\partial I_j}, \text{ y } \frac{\partial \Pi^T}{\partial q_i} = \frac{\partial \Pi^T}{\partial q_j}, \forall i, j,$$

que implican que las rentabilidades marginales de inversiones en diferentes productos se igualarían. Dicho de otra forma, la empresa invertiría en aquellos proyectos, o productos, con el más alto beneficio marginal, dado un riesgo. Esto no es más que una regla del valor actual neto descontado.

Con dos productos A y B, lo comentado es fácilmente ejecutable. Con todo, un criterio mejor que el del valor actual es el criterio del valor actual neto descontado de las rentabilidades (BAND)<sup>(3)</sup>. Una estimación del mismo es:

$$\hat{BAND} = \sum_{t=1}^T \frac{TR(\hat{q}_A^t, \hat{q}_B^t | I^t) - C(\hat{q}_A^t, \hat{q}_B^t | I^t) - (I_A^t + I_B^t)}{(1 + r_t)^{t-1}}, \quad [2]$$

donde  $\hat{q}_i^t$  es la cantidad estimada vendida de producto  $i$  en el período  $t$ ;  $TR(*)$  son los ingresos totales como una función de la cantidad, dado un conjunto de inversiones,  $I^t$ , en el período  $t$ ;  $C(*)$  son los costes totales como una función de la cantidad, dado un conjunto de inversiones,  $I^t$ , en el período  $t$ ;  $r_t$  es la tasa de descuento en el período  $t$  (coste de capital); e  $I_i^t$  es la inversión en el activo  $i$  en el período  $t$ .

El objetivo de la empresa será elegir los niveles de  $I_A^t$ ,  $I_B^t$ , que maximizan la ecuación [2] dado un riesgo.

El siguiente requerimiento es la determinación del riesgo. Este puede considerarse como una función de dos riesgos subsidiarios, el riesgo del mercado y el riesgo específico de la empresa. Lo básico es valorar el riesgo y ver como cambia con la inversión. La definición económica de riesgo

---

(3) La rentabilidad es un índice más útil en este caso pues representa la relación del valor actual de los proyectos respecto a la inversión. Como las empresas pretenden maximizar la rentabilidad de las inversiones, este criterio es más apropiado que el simple del valor actual neto, que no tiene en cuenta la proporción de rentabilidad de la inversión.

se basa en la incertidumbre o variancia asociada con una variable. Para la inversión en un producto  $i$ , definimos su riesgo de mercado como:

$$\sigma_{iM} = \text{cov}(\tilde{R}_i, \tilde{R}_M), \quad [3]$$

siendo  $\tilde{R}_M$  la rentabilidad de la cartera de mercado y  $\tilde{R}_i$  la rentabilidad de la inversión en el producto  $i$ .

Una segunda componente del riesgo es la específica de la empresa <sup>(4)</sup>. Respecto a los límites de la diversificación, hay dos conjuntos de factores a considerar: 1) Factores asociados con los límites de la rentabilidad conjunta y 2) Limitación del número de productos que la empresa puede fabricar, particularmente productos que son sinérgicos de alguna manera. La diversificación interna total será también imposible porque sólo puede existir un número limitado de posibles productos.

La variancia total de la rentabilidad en una CP de  $N$  productos, cada uno de ellos con una inversión  $x_i$ , viene dada por:

$$\text{Var}(\tilde{R}_P) = \sum_{i=1}^N x_i^2 \text{var}(\tilde{R}_i) + 2 \sum_{\substack{i,j \\ i \neq j}} x_i x_j \text{cov}(\tilde{R}_i, \tilde{R}_j). \quad [4]$$

Con la diversificación interna de la empresa, se demuestra que el primer sumando de la ecuación [4] puede evitarse total o parcialmente, siendo la contribución de un producto individual al riesgo total de la cartera:

$$\sigma_i^P = x_i \overline{\text{cov}}(\tilde{R}_i, \tilde{R}_I),$$

siendo  $\overline{\text{cov}}(\tilde{R}_i, \tilde{R}_I)$  la covariancia media del producto  $i$  con todos los otros productos de la cartera,  $\tilde{R}_I = \Pi(q, I) / \sum_{i=1}^N I_i$  la rentabilidad de la empresa,  $I$  el vector de inversiones iniciales en cada uno de los  $N$  productos, ( $I \geq 0$  con  $i = 1, \dots, N$ ) y  $\Pi(q, I)$  los beneficios de la empresa en función de la inversión,  $I$ , y de la producción,  $q$ .

El riesgo de la empresa puede descomponerse en dos partes no diversificables. La primera componente captura la relación de los productos de la cartera con la cartera financiera de mercado, es decir, el riesgo del mercado. La segunda componente relaciona cada producto con todas las otras componentes de la cartera. El riesgo total de la empresa puede, por tanto, definirse como

---

(4) Los accionistas estarán interesados en el riesgo de la empresa por dos importantes razones: bancarrota y límites de la diversificación. En el caso de la mayor parte de las grandes empresas, podrían estar menos interesadas con la actual probabilidad de fallo de cualquier producto o proyecto que con su contribución a la probabilidad conjunta de bancarrota.

$$\sigma = \text{var}(\bar{R}_f) = \sum_{\forall i \neq j} x_i x_j \text{COV}(\bar{R}_i, \bar{R}_j) + 2 \sum_{i=1}^N x_i x_M \text{COV}(\bar{R}_i, \bar{R}_M). \quad [5]$$

El riesgo de la empresa es igual a la suma de las componentes no diversificables del riesgo. Cada producto  $i$  contribuye al riesgo total de la empresa con:

$$\sigma_i = 2 x_i \left[ \sum_{j=1}^{i-1} x_j \text{COV}(\bar{R}_i, \bar{R}_j) \right] + \sum_{j=i+1}^N [x_j \text{COV}(\bar{R}_i, \bar{R}_j) + x_M \text{COV}(\bar{R}_i, \bar{R}_M)]. \quad [6]$$

Debido a la complejidad del análisis, es prácticamente imposible tener una especificación exacta y general para el riesgo, por lo que se obtendrá sólo una aproximación o medida ordinal del riesgo, existiendo diversas soluciones aproximadas. Una medida útil y relativamente sencilla del riesgo la encontramos en el APT. Mientras que el CAPM dice que la rentabilidad de los activos puede relacionarse con un único factor, la tasa de rentabilidad de la cartera de mercado, el APT dice que la tasa de rentabilidad de cualquier activo es una función lineal de  $k$  factores subyacentes ( $F_k$ ) tales que:

$$\bar{R}_i = E(\bar{R}_i) + \beta_{i1} \bar{F}_1 + \dots + \beta_{ik} \bar{F}_k + \mu_i, \quad [7]$$

donde  $\beta_{ik}$  es la sensibilidad del  $i$ -ésimo activo al  $k$ -ésimo factor,  $\bar{F}_k$  es el factor  $k$ -ésimo común a todos los activos considerados, de media cero y  $\mu_i$  es el error aleatorio de media cero para el  $i$ -ésimo activo.

En nuestro modelo, consideramos que los riesgos específicos del mercado y de la empresa son los únicos factores relevantes. Por tanto, será necesario estimar la siguiente especificación del APT

$$\bar{R}_{it} = \alpha + \beta_{iM} \bar{R}_{Mt} + \beta_{if} \bar{R}_{ft} + \bar{u}_i, \quad [8]$$

con  $\alpha$  la rentabilidad de un activo libre de riesgo,  $R_{ft}$ ;  $\beta_{iM} = \text{cov}(\bar{R}_i, \bar{R}_M) / \text{var}(\bar{R}_M)$

la medida del riesgo sistemático del mercado y  $\beta_{if} = \text{cov}(\bar{R}_i, \bar{R}_f) / \text{var}(\bar{R}_f)$  la medida del riesgo sistemático de la empresa.

La variancia residual,  $\text{var}(\bar{u}_i)$  sirve como una medida del riesgo no sistemático. La ecuación [8] implica que la rentabilidad de un producto individual puede descomponerse en dos factores ortogonales, el factor de riesgo del mercado y el factor de riesgo de la empresa. La diversificación reduciría  $\text{var}(\bar{u}_i)$  a cero, quedando la anterior ecuación [8] como

$$E(\bar{R}_i) = \alpha + \beta_{iM} E(\bar{R}_M) + \beta_{if} E(\bar{R}_f). \quad [9]$$

Combinando riesgo y rentabilidad, el coste de capital de un producto será

$$\hat{r}_i = R_{rf} + \hat{\beta}_{iM} [E(\tilde{R}_M) - R_{rf}] + \hat{\beta}_{ij} [E(\tilde{R}_j) - R_{rf}], \quad [10]$$

donde  $R_{rf}$  es la rentabilidad de un activo sin riesgo. Si se examina un sólo producto, y el coste de capital es constante a lo largo del tiempo, la ecuación [2] se transforma en

$$\hat{BAND}_k = \sum_{t=1}^T \frac{TR(\hat{q}_k^t | \hat{q}_k^t, I^t) - C(\hat{q}_k^t | \hat{q}_k^t, I^t) - I_k^t}{[1 + R_{rf} + \hat{\beta}_{kM} [E(\tilde{R}_M) - R_{rf}] + \hat{\beta}_{kf} [E(\tilde{R}_f) - R_{rf}]]^{t-1}} \quad [11]$$

Para una cartera de N productos, la ecuación [11] será

$$\hat{BAND} = \sum_{t=1}^T \frac{TR(\hat{q}^t, I^t) - C(\hat{q}^t, I^t) - \sum_{j=1}^N I_j^t}{[1 + R_{rf} + \hat{\beta}_{PM} [E(\tilde{R}_M) - R_{rf}] + \hat{\beta}_{Pf} [E(\tilde{R}_f) - R_{rf}]]^{t-1}} \quad [12]$$

siendo  $\hat{\beta}_{PM} = \sum_{i=1}^N x_i \hat{\beta}_{iM}$  y  $\hat{\beta}_{Pf} = \sum_{i=1}^N x_i \hat{\beta}_{if}$ .

Las expresiones anteriores demuestran la operatividad del modelo que proponemos generalizando los BAND para que las rentabilidades recojan las sinergias e interdependencias entre productos desde los factores APT.

La  $\hat{\beta}_{Pf}$  recoge la prima de riesgo de cada elemento de la cartera y refleja el equilibrio rentabilidad-riesgo intracartera (entre productos). La  $\hat{\beta}_{PM}$  recoge la prima de riesgo del conjunto de la cartera con el mercado financiero.

#### 4. SELECCIÓN DE INVERSIONES DESDE BAND CON DOS FACTORES

En muchos casos, la empresa tendrá información histórica confidencial sobre la rentabilidad de sus productos e incluso sobre sus determinantes. En otros, particularmente cuando se trate de productos o proyectos nuevos, deberá acudir además a información externa tal como la base de datos PIMS o la COMPUSTAT, además de la valoración del mercado de valores, si hubiese lugar.

La decisión final será hecha, formal o informalmente, por los ejecutivos. Un análisis conjunto, o mejor aún un proceso experto de jerarquización, permitiría obtener la elección implícita en las opiniones de los diferentes directivos.

Finalmente, la cartera así reestructurada servirá de base para la valoración final, fijación de metas y bandas de confianza para la rentabilidad de las distintas unidades de negocio y presupuesto de capital. Toda esta información debe quedar reflejada en el plan estratégico de la empresa y traducida en términos clásicos de estrategia de negocio (cuota de mercado, precios relativos, costes relativos, calidad relativa, etc.).

Las mejoras en las bases de datos y los avances en organización industrial hacen realista aproximaciones como las de nuestro modelo. Junto al plan estratégico debe ser también flexible y versátil para evitar el conocido síndrome “análisis-parálisis” frecuente en dirección estratégica (Hernández; Olmo y García, 2000).

Al no disponer de datos (PIMS, COMPUSTAT), tampoco nos ha parecido oportuno ilustrar el modelo con rentabilidades de valores de la bolsa o “commodities”, tales como productos agrícolas. En el primer caso, no podríamos ilustrar los efectos sinérgicos de mercados oligopolistas, típicos de carteras de productos. En el segundo caso, se añade un corto recorrido para las series (típicamente anuales), además de no reflejar tampoco las interrelaciones entre mercados.

Por estas razones, no tenemos más alternativa que simular, con propósito puramente ilustrativo, un vector de rentabilidades formado por cuatro productos con claras interacciones en sus rentabilidades. La matriz de variancias-covariancias del ruido no es diagonal, con lo que se garantizan las dependencias al menos instantáneas.

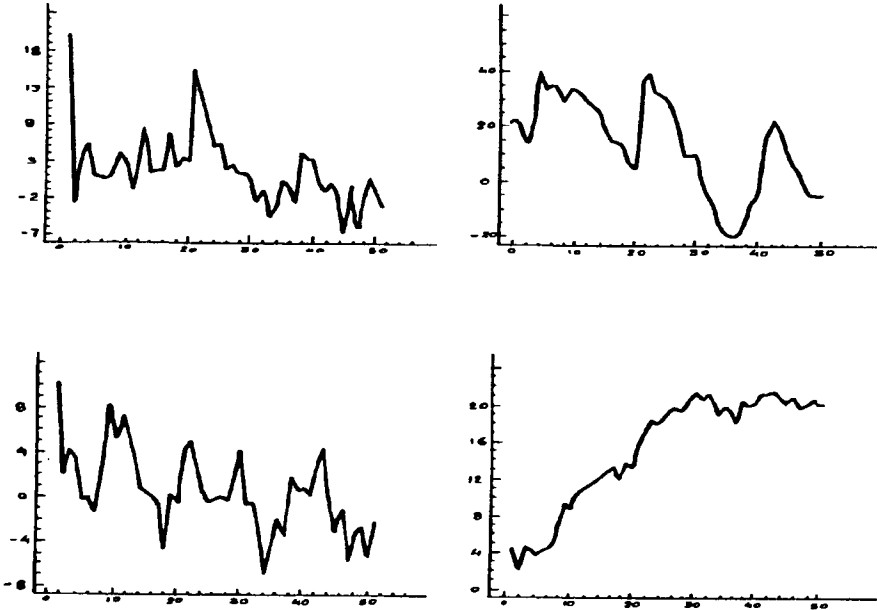
Dos de las series corresponden a productos maduros con rentabilidades bajas y bastante volatilidad, con lo que el modelo debería aconsejarnos siempre la desinversión. La tercera serie corresponde a un producto semidurable, sensible al ciclo. La cuarta serie representa a un nuevo producto altamente exitoso que en una primera etapa ha tenido altas tasas de rentabilidad, manteniéndola posteriormente a tasa constante. A pesar de su alta rentabilidad, se prevé que en un futuro próximo el mercado será más competitivo, el producto entrará en la zona de madurez y, por tanto, sería arriesgado no limitar la inversión en el mismo.

La figura 1 muestra las series de rentabilidades simuladas correspondientes a los cuatro productos referidos. Del análisis de las correlaciones cruzadas de las innovaciones de las series individuales se desprende que existe interrelación entre los productos. En este ejercicio no se incorpora información sobre si esta dependencia procede de la demanda o de la oferta.

El análisis anterior indica que para recoger las sinergias e interdependencias entre productos, es necesario estimar una matriz de variancias-covariancias. La ecuación [12] puede utilizarse para examinar los efectos de la inversión en cualquier producto de una cartera sobre la rentabilidad total de la misma. Calculado el coste de capital, dado por la ecuación [10], estimaremos el BAND.

A efectos de la ilustración hemos supuesto, arbitrariamente, ciertas características de la empresa y su entorno sin alterar la aproximación, ya que estas características sólo sirven como entradas para determinadas aplicaciones. Así, hemos supuesto que la tasa real libre de riesgo,  $R_{rf}$ , es del 3%, la rentabilidad real esperada del mercado,  $E(R_M)$ , del 5 por 100 y la inversión está igualmente repartida entre los productos de la cartera.

Figura 1. SERIES DE RENTABILIDADES SIMULADAS PARA LOS CUATRO PRODUCTOS DE LA CARTERA.



La tabla 2 muestra los resultados del análisis de una empresa con cuatro productos a lo largo de 50 períodos. El análisis de tales datos puede hacerse empleando cualquiera de los diversos modelos financieros de cartera disponibles. Las betas de la tabla 2 representan la covariación de la rentabilidad de cada producto y la rentabilidad de un conjunto de activos diversificados ( $\beta_{iM}$ ) y la rentabilidad total de la empresa ( $\beta_{if}$ ), respectivamente. Tales coeficientes beta pueden interpretarse de la misma forma a como son interpretados en la teoría financiera de cartera. El primer factor destaca que cada producto puede tener una beta producto/mercado,  $\beta_{iM}$ , positiva o negativa. Esto indica que los productos, individualmente, tienen características rentabilidad-riesgo diferentes de las de la empresa como un todo.

Otra circunstancia notable es que los cuatro productos son globalmente complementarios,  $\beta_{if} > 0, \forall i$ . Esto implica que la rentabilidad (y el riesgo) de todos estos productos tiende a moverse en la misma dirección, aunque las magnitudes de tales movimientos varíen. Esto sugiere que existen sinergias entre los productos en el lado de la oferta, de la demanda, o en ambos.

Dadas las betas estimadas, al obtener los costes de capital puede verse que son mayores para los productos que más contribuyen a la insolvencia de la empresa. En nuestro caso, los productos tercero y cuarto contribuyen más al riesgo de la empresa y, por tanto, tienen costes de capital más altos.

**Tabla 2.** ESTIMACIÓN DE LOS PARÁMETROS PARA UNA HIPOTÉTICA CARTERA DE CUATRO PRODUCTOS DE UNA EMPRESA.

Producto	$\beta_{iM}$	$\beta_{ij}$	$r_i$	BAND <sup>1</sup>	BAND <sup>2</sup>
A	0,2672 (5,51)	0,0377 (0,80)	3,76 %	7,942	7,119
B	-0,0922 (-1,93)	0,1149 (2,49)	3,49 %	1,975	0,033
C	-0,1120 (-1,47)	0,4017 (5,46)	5,13 %	51,263	56,856
D	-0,0962 (-1,56)	0,3384 (5,68)	4,79 %	52,672	55,920
Media	-0,0083	0,2232	4,29 %		
Total				113,852	119,928

Entre paréntesis la t de Student, (1) con coste de capital de los productos individuales y (2) con el coste de capital medio de la empresa.

Otra circunstancia notable es que los cuatro productos son globalmente complementarios,  $\beta_{ij} > 0, \forall i$ . Esto implica que la rentabilidad (y el riesgo) de todos estos productos tienda a moverse en la misma dirección, aunque las magnitudes de tales movimientos varíen. Esto sugiere que existen sinergias entre los productos en el lado de la oferta, de la demanda, o en ambos.

Dadas las betas estimadas, al obtener los costes de capital puede verse que son mayores para los productos que más contribuyen a la insolvencia de la empresa. En nuestro caso, los productos tercero y cuarto contribuyen más al riesgo de la empresa y, por tanto, tienen costes de capital más altos.

Con estos costes de capital podemos calcular el BAND, obteniendo que todos los productos producen un beneficio descontado positivo, siendo el beneficio descontado total de la empresa igual a 113,85. Esto es similar a utilizar un coste de capital medio ponderado. Ignorando las diferencias entre los productos, se obtiene que los beneficios descontados están sobreestimados.

El siguiente paso en el análisis de la cartera es desinvertir en algún producto de la cartera y esa inversión distribuirla por igual entre los restantes productos. Esto nos proporciona una forma simple de medir el valor relativo de un producto y examinar la estabilidad de las covariancias a los cambios en la inversión. Las betas permanecen moderadamente estables. No hay cambios de signo y los valores son del mismo orden de magnitud. Por otra parte, los costes de capital son también similares (ver tabla 3).

El ejemplo anterior sirve para mostrar lo sencilla que es la aplicación de este modelo. Hemos examinado los problemas básicos asociados con la

inversión en una empresa multiproducto, permitiéndonos demostrar que el modelo BAND es aplicable a los datos actuales de una empresa.

**Tabla 3.** ESTIMACIÓN DE LOS PARÁMETROS PARA UNA CARTERA EN LA QUE SE HA DESINVERTIDO EN ALGÚN PRODUCTO.

Producto	$\beta_{iM}$	$\beta_{if}$	$r_i$	BAND <sup>1</sup>
A	0,2727 (5,73)	0,0166 (0,36)	3,61 %	6.204
B	—	—	—	—
C	-0,10004 (-1,36)	0,4156 (5,73)	4,46 %	53,891
D	-0,0849 (-1,43)	0,3540 (6,09)	4,25 %	54,402
Media	0,0291	0,2621	4,11 %	
Total				114,497

Entre paréntesis la t de Student, (1) con coste de capital de los productos individuales.

La dificultad mayor asociada con la aplicación del modelo BAND está en obtener las interacciones entre los productos. Para el caso de productos introducidos ya en el mercado, las interacciones entre costes, ingresos y beneficios pueden estudiarse desde los datos pasados. En el caso de nuevos productos, las interacciones pueden suponerse en base a la información disponible sobre los procesos de producción y la demanda potencial del producto.

## 5. CONCLUSIONES

No hay nada que indique que el modelo BAND sea una alternativa a los modelos de estrategia competitiva tradicionales a la Porter o a la Boston, o que es incompatible con modelos de simulación corporativa o de organización industrial. Por el contrario, para que éstos sean verdaderamente útiles, deberían incorporar modelos como el nuestro, forzando a los directivos a contrastar la consistencia de sus elecciones estratégicas en un contexto de rentabilidad-riesgo. De hecho, el resultado de esta interacción debe conllevar la redefinición de grupos estratégicos o de unidades de negocio.

El comportamiento inversor de las empresas sigue siendo poco entendido, a pesar de su importancia, en todo modelo de estructura de mercado o de crecimiento económico. Ello es así por la dificultad de incorporar dos características de la inversión: irreversibilidad e incertidumbre. La irrever-



sibilidad supone la existencia de importantes costes irrecuperables. La presencia de incertidumbre, incluso bajo la hipótesis simplificadora de aproximarla por el riesgo medido por la variancia de previsión de rentabilidades, invalida el criterio de selección de inversiones que enseñamos en nuestras aulas: “invertir en un proyecto cuando el valor actual de las rentabilidades esperadas iguala al menos a su coste”.

Aunque la eficiencia del mercado de valores es cuestionable, no hay duda sobre la relación rentabilidad-riesgo y la utilidad de los modelos desarrollados en finanzas para captar esta relación. Sin embargo, en el contexto industrial y de planificación estratégica, los directivos modifican sus líneas de productos y proyectos sin una evaluación sistemática del riesgo, aún cuando se ha demostrado que existe intercambio rentabilidad-riesgo en la selección de inversiones reales, a pesar de que los empresarios no utilizan modelos formales, de acuerdo con la teoría de valoraciones fundamentales de Tobin.

En este trabajo hemos establecido un modelo operativo de selección de inversiones industriales y de gestión de cartera de productos, que utiliza el intercambio rentabilidad-riesgo, medido éste desde la matriz de variancias-covariancias de las previsiones de rentabilidad, en el espíritu de Markowitz, respondiendo así a las necesidades de los directivos en la planificación estratégica de sus unidades de negocio. Para ello hemos extendido el modelo APT a la selección de inversiones industriales y cartera de productos.

El modelo desarrollado recoge la existencia de sinergias entre proyectos y dependencias entre los productos. Permite el control parcial por el inversor de la relación rentabilidad-riesgo; incorporando conocimiento específico y dependencia de las inversiones.

Por último, la facilidad de separar la rentabilidad y el riesgo del mercado de los específicos de la empresa, permite valorar las competencias distintivas y los potenciales de beneficio relativo de la empresa, así como si están siendo utilizados equilibradamente. Es decir, el modelo ayuda a separar las mejoras de rentabilidad atribuibles a las condiciones generales macroeconómicas o del mercado y las internas de la empresa.

## BIBLIOGRAFÍA

- ALLAN, M.G. (1979). “Diagnosing GE’s Planning for What’s Watt”. In R.J. Allio and M.W. Pennington (eds.) *Corporate Planning: Techniques and Applications*, 211-220. New York: AMACOM.
- AMIHUD, Y. and B. LEV (1981). “Risk Reduction as a Managerial Motive for Conglomerate Mergers”. *Bell J. of Economics*, 605-617.
- ANDERSON, P.F. (1981). “Marketing Investment Analysis”. In J.N. Sheth (ed.) *Research in Marketing*, 4:1-38. Greenwich: JAI Press.

- BAUMOL, W.J., J.C. PANZAR and R.P. WILLIG (1982). *Contestable Markets and the Theory of Industry Structure*. New York: Harcourt Brace Jovanovich.
- BCG (1970). *The Product Portfolio*. Massachusetts: Boston Consulting Group.
- BETTIS, R.A. and K. HALL (1982). "Diversification Strategy, Accounting Determined Risk and Accounting Determined Return". *Academy of Management J.*, 25:254-264.
- BETTIS, R.A. and V. MAHAJAN (1985). "Risk Return Performance of Diversified Firms". *Management Science*, 785-799.
- BONINI, C.P. (1975). "Risk Evaluation of Investment Project". *Omega*, 3:735-750.
- BOWMAN, E.H. (1984). "Content Analysis of Annual Reports for Corporate Strategy and Risk". *Interface*, 14:61-72.
- CHANG, Y. and H. THOMAS (1989). "The Impact of Diversification Strategy on Risk-Return Performance". *Strategic Management Journal*, 10:271-284.
- DEAN, B.V. and M.J. NISHRY (1965). "Scoring and Profitability Models for Evaluating and Selecting Engineering Projects". *Operations Research*, 13:550-570.
- DEVINNEY, T.M., D.W. STEWART and A.D. SHOCKER (1985). "A Note on the Application of Portfolio Theory: A Comment on Cardozo and Smith". *Journal of Marketing*, 49:107-112.
- DRUCKER, P.F. (1963). "Managing for Business Effectiveness". *Harvard Business Review*, 41:59-60.
- FIGENBAUM, A. and H. THOMAS (1988). "Attitudes Toward Risk and the Risk-Return Paradox: Prospect Theory Explanations". *Academy of Management J.*, 31:85-106.
- FOX, G.E., N.R. BAKER and J.L. BRYANT (1984). "Economic Models for R and D Project Selection in the Presence of Project Interactions". *Management Science*, 30:890-902.
- GEAR, T.E. and G.C. COWIE (1980). "A Note on Modeling Project Interdependence in Research and Development". *Decision Science*, 11:738-748.
- HELPHAT, C.E. (1988). *Investment Choices in Industry*. Massachusetts: MIT Press.
- HERNÁNDEZ, C.; R. DEL OLMO y J. GARCÍA (2000). *El Plan de Marketing Estratégico*. Barcelona: Gestión 2000.
- HIRSHLEIFER, J. (1970). *Investment, Interest and Capital*. New York: Prentice-Hall.
- MAYERS, D. (1972). "Non-Marketable Assets and the Capital Market Equilibrium under Uncertainty". In M.C. Jensen (ed.) *Studies in the Theory of Capital Markets*, 223-248. New York: Praeger.
- MOORE, J.R. and N.R. BAKER (1969). "Computational Analysis of Scoring Models for R and D Project Selection". *Management Science*, 16:B212-B232.
- ROSS, S.A. (1976). "The Arbitrage Theory of Capital Asset Pricing". *Journal of Economic Theory*, 13(3):341-360.
- SHETH J.N. and G.L. FRAZIER (1983). "A Margin-Return Model for Strategic Planning". *Journal of Marketing*, 47:100-109.

- TOBIN, J. (1984). "A Mean-Variance Approach to Fundamental Valuations". *Journal of Portfolio Management*, (fall):26-32.
- UTTERBACK, J.M. and W.J. ABERNATHY (1975). "A Dynamic Model of Process and Product Innovation". *Omega*, 3:639-655.
- WIND, Y. (1975). "Product Portfolio: A New Approach to the Product Mix Decision". In R.C. Curham (ed.) *Combined Proceedings*. Chicago: American Marketing Association.
- WRIGHT, R.V.L. (1978). "A System for Managing Diversity". In S.H. Britt and H.W. Boyd (eds.) *Marketing Management and Administrative Action*, 46-60. New York: McGraw-Hill.