

Análisis de riesgos en producción: un modelo de optimización-simulación para carteras de proyectos de mejora

Javier Conde Collado¹, Eduardo Conde Jiménez²

¹ Área de Organización de Empresas. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales. Universidad Nacional de Educación a Distancia. Apartado de correos 60.149, 28080 Madrid. Jconde@cee.uned.es

² Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales. Universidad Europea CEES. Madrid. econde@retemail.es

Resumen

Los métodos de valoración de opciones reales, que surgen en el ámbito del análisis financiero, permiten considerar la flexibilidad en la gestión y toma de decisiones involucradas en proyectos de inversión de activos reales. Permiten, además, consideraciones más evolucionadas y realistas (posibilidad de toma de decisiones durante el desarrollo e implementación del proyecto, o planteamientos de supuestos de aleatoriedad de algunas variables de control) que conducen a mejoras relevantes en relación con los métodos convencionales.

El modelo elegido parte del planteado por Black y Scholes (1973) desarrollado para valorar opciones reales y que, con posterioridad, Cobb y Charnes (2003), trasladan al campo de las inversiones en activos reales, introduciendo variables de decisión y supuestos estocásticos. En su modelo, a partir del cálculo de los NPV para un elevado número de combinaciones de variables de decisión, se determina una regla de decisión óptima basada en criterios observables. La utilización de esta aproximación permite la obtención de mejoras significativas sobre reglas de decisión arbitrarias.

Esta comunicación plantea la adaptación del modelo anterior a proyectos de mejora en entornos productivos. En estos entornos, el uso de nuevas tecnologías suele conllevar niveles de riesgo importantes, con reposiciones frecuentes de las tecnologías y los proyectos. La adaptación implica la modificación de las hipótesis de partida de Cobb y Charnes, para adaptarlas a escenarios con depreciaciones elevadas de los activos. También se establecen hipótesis diferentes en lo relativo a las reglas de decisión.

Palabras clave: Análisis de riesgos, simulación, optimización, ROV, procesos estocásticos, algoritmos de scatter search.

1. Introducción

A partir de los recientes problemas financieros de empresas de prestigio internacional, consideradas a priori por sus accionistas como plenamente fiables y libres de toda sospecha de riesgo, varios gobiernos se han apresurado a promulgar reglamentaciones muy estrictas, cuyo objetivo es asegurar la implantación y buen uso de Sistemas de Gestión que minimicen los Riesgos. Se trata de asegurar a los accionistas el valor de sus depósitos, detectando con antelación los focos de riesgo y poniendo en marcha acciones correctivas y preventivas ante su aparición real o potencial. Cabe citar como una de las más relevantes la Sarbanes Oxley Act, que fija procedimientos de actuación, controles internos, indicadores y responsabilidades personales a los altos directivos de las empresas que cotizan en las Bolsas norteamericanas. Otros países ya han promulgado o están a punto de sacar a la luz legislaciones similares.

Ante esta situación, la Alta Dirección de las Empresas y entre ellos, muy especialmente, los directores de operaciones, se plantean la necesidad del control de riesgos de sus procesos productivos. Una de las acciones que parecen prioritarias es el análisis y control del riesgo desde las fases iniciales de desarrollo del producto y el proceso. La selección e implantación de nuevas tecnologías y los proyectos de mejora y adaptación al cambio parecen otros supuestos altamente sensibles a los aspectos ligados al riesgo. En esa línea, la presente contribución se centra en la obtención de un modelo de simulación-optimización de una cartera de proyectos de mejora ligados a la implantación de nuevas tecnologías, cuando la incertidumbre viene caracterizada por hipótesis o supuestos de series de tiempo estocásticas. Así, se aborda el estudio de los focos potenciales de riesgos de los procesos de operaciones en la búsqueda de una metodología de implantación de un Sistema de Gestión de Riesgos en entornos productivos.

2. Metodología

Toda vez que los métodos de flujo de caja descontado (NPV-valor actual neto), han dado paso a métodos como el ROV (evaluación de opciones reales) que surgen en el ámbito del análisis financiero, en la valoración de opciones, y que permiten consideraciones más evolucionadas y realistas (posibilidad de toma de decisiones durante el desarrollo e implementación del proyecto, o planteamientos de supuestos de aleatoriedad de algunas variables de control) que conducen a mejoras relevantes en relación con los métodos convencionales.

Black y Scholes (1973) desarrollaron un modelo para valorar opciones reales, que Cobb y Charnes (2003), trasladan al campo de las inversiones en activos reales. En este caso, el NPV de los proyectos de inversión potenciales es función de variables de decisión y de supuestos estocásticos. Calculando dichos NPV a partir de muchas combinaciones de variables de decisión (un algoritmo de scatter search, conforme a los planteamientos de Laguna *et al.* (1996) selecciona los escenarios de variables de decisión), se determina una regla de decisión óptima basada en criterios observables. Se demuestra que, seleccionando una regla de decisión óptima utilizando el modelo de simulación-optimización, se consiguen mejoras significativas sobre reglas de decisión arbitrarias.

Esta comunicación, utilizando de partida esta última aproximación, plantea su adaptación a entornos productivos (proyectos de mejora que implican el uso de nuevas tecnologías) en los que el riesgo es especialmente relevante y que se caracterizan por: necesidad de reposiciones frecuentes de las tecnologías y los proyectos. Estos y otros supuestos modifican las hipótesis de partida de Cobb y Charnes, en concreto, los relativos a procesos estocásticos AR(1), que se adaptan a depreciaciones de los flujos elevadas y a las reglas de decisión que pasan a ser más drásticas que las planteadas por ellos, tratando de recoger la elasticidad de las expectativas.

El modelo de simulación-optimización de Cobb y Charnes parte de variables de decisión que permiten decidir la oportunidad o no de implementar o continuar con un determinado proyecto; supuestos estocásticos para los flujos de efectivo que producirán los proyectos de la cartera; y supuestos deterministas, basados en estimaciones y comparaciones, que completan el modelo.

Estas variables permiten el cálculo de los NPV de cada proyecto de acuerdo a una tasa de actualización. Además, la componente de simulación-optimización, que interactúa con el dispositivo de cálculo de los NPV, selecciona diferentes combinaciones de las variables de decisión y genera pruebas de simulación aleatoria, a partir de hipótesis estocásticas. Se

calculan la media de los NPV para cada combinación de reglas de decisión a fin de obtener la regla óptima y, en consecuencia, el valor óptimo a obtener.

Partiendo de K proyectos de inversión potenciales, cada uno de ellos notado por $k = 1, \dots, K$, que se pueden aplicar en $t = 1, \dots, T$ períodos de tiempo, se definen dos conjuntos de variables de decisión:

α_k Parámetro de corte del límite inferior del flujo de caja lineal para el proyecto k

β_k Parámetro de pendiente del límite inferior de flujo de caja lineal para el proyecto k

Se utilizan, además, dos supuestos de series de tiempo estocásticas:

B_t Base de clientes en el período t

R_t Ganancia unitaria en el período t

Los supuestos determinísticos se definen como sigue:

C_t Coste variable unitario en el período t

I_{kt} Variable indicadora que representa la disponibilidad del proyecto k en el período t

N_{kj} Variable indicadora que representa la disponibilidad del proyecto k en el proyecto j

F_k Inversión requerida para iniciar el proyecto k

c_{kt} Decremento del coste variable unitario obtenido por la implementación del proyecto k (si está activo) en el período t (determinado como porcentaje del coste C_t)

r_{kt} Incremento de la ganancia unitaria obtenida por la implementación del proyecto k (si está activo) en el período t (determinado como porcentaje del coste R_t)

Se plantean, también otras variables determinísticas que proporcionan una instantánea específica de las variables de decisión y de los supuestos estocásticos.

Y_{kt} Límite inferior de decisión del Flujo de caja lineal para el proyecto k en el período t .

D_{kt} Variable indicador que representa la comparación de los flujos de caja de la línea-base en el período $t-1$ con un límite inferior lineal para el proyecto k

A_{kt} Variable indicadora que representa la activación del proyecto k en el período t

G_{kt} Variable indicadora que representa la periodificación del coste de inversión fijado para el proyecto k en el período t

Se trata de tomar decisiones sobre implementar o no proyectos de inversión. El decisor tiene la opción de elegir si desea implementar o clausurar u determinado proyecto, si bien un valor de 1 de la variable N_{kj} , denota que los proyectos i y j son interdependientes, y que, por ejemplo es preciso realizar antes el proyecto i si se desea, con posterioridad, implementar el proyecto j.

Como consecuencia de la implementación de los proyectos, se presta un servicio que es retribuido (R_t) por una base de clientes, cuyo número viene representado por la variable B_t . Cobb y Charnes suponen en su contribución que ambas variables son representadas por procesos AR(1):

$$R_t = \mu_R + Z_{Rt} = \mu_R + \phi_R Z_{R,t-1} + a_{Rt}$$

$$B_t = \mu_B + Z_{Bt} = \mu_B + \phi_B Z_{B,t-1} + a_{Bt}$$

siendo a_{Rt} y a_{Bt} ruidos blancos y estando ambos procesos correlacionados.

Las decisiones de inversión en un proyecto determinado k, en un período t, se toman en base a las observaciones de los flujos de caja que proporciona. El valor del parámetro de decisión para el proyecto k en el período t es:

$$Y_{kt} = \alpha_k I_{kt} + \beta_k \left(\left(\sum_{i=1}^t I_{ki} \right) - 1 \right)$$

$D_{k1} = 0$, para cualquier proyecto $k = 1, \dots, K$. Mientras que cuando $t \neq 1$, se tendrá que:

$$D_{kt} = 1, \text{ cuando } B_{t-1}(R_{t-1} - C_{t-1}) \geq Y_{kt}$$

y

$$D_{kt} = 0, \text{ en los demás casos.}$$

En el caso del proyecto k en el período $t = 1$, la variable de activación es entonces:

$$A_{k1} = D_{k1} I_{k1}$$

En el caso en que $t > 1$ se tendrá:

$$\text{si } A_{k,t-1} \neq 1, \text{ entonces } A_{kt} = \prod_{\substack{j \\ N_{kj} \neq 0}} I_{jt} D_{jt}$$

$$\text{si } A_{k,t-1} = 1, \text{ entonces } A_{k,t} = 1$$

la variable de activación representa el supuesto de que para que el proyecto k se active, todos los proyectos de los que dependa deben estar activados, lo que requiere una de las dos condiciones siguientes:

- ✓ que los flujos de caja para el período $t - 1$ excedan al flujo de caja mínimo exigible para el proyecto k y de aquellos de los que dependa
- ✓ que fuera activado en un periodo anterior.

Si a la variable indicador G_{kt} se le asigna el valor de 1, la inversión F_k se gasta en el período t . Los valores de G_{kt} se asignan así:

$$G_{kt} = \begin{cases} 1 & \text{if } \sum_{i=1}^t A_{ki} = 1 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

El flujo incremental ICF_t de efectivo incluye ahorros de costes y ganancias adicionales y se calcula así:

$$ICF_t = \sum_{k=1}^K (B_t A_{kt} (c_{kt} C_t + r_{kt} R_t) - G_{kt} F_k)$$

Por ultimo, para calcular el flujo de caja descontado se utiliza la fórmula:

$$NPV = \sum_{t=1}^T (ICF_t) e^{-rt}$$

siendo r la tasa de descuento.

3. Discusión del método

Cobb y Charnes aplican su método utilizando algoritmos de *scatter search* a partir de Laguna et al (1996), a un caso de 3 proyectos en un horizonte de 5 años. Utilizan el supuesto determinista de comienzo temprano de los proyectos, el de simulación, a partir de reglas de decisión arbitrarias y utilizando 50000 ensayos de simulación, y, por último, el supuesto de simulación-optimización; en éste último caso se obtiene el mayor valor medio del NPV y la regla de decisión óptima que lo consigue.

Debe reconocerse el interés del artificio de Cobb y Charnes, especialmente en lo relativo a la presencia de reglas de decisión a optimizar, que dotan al proceso de toma de decisiones de propuestas dinámicas en función de objetivos ligados al flujo de efectivo.

Las consideraciones relativas a la aleatoriedad de las variables de mercado (cantidades demandadas y precios) y, en consecuencia a los flujos de efectivo, pudiéndose calificarse, sin duda de interesantes, no se separan de otras que han ido reflejando diversos autores.

Es sin duda, el paralelismo trazado con el problema de valoración de opciones, lo más sugerente del modelo. Los mercados de futuros y opciones, además de abrirse a propuestas de nuevos productos y situaciones de decisión, aparecen como compensadores de los posibles riesgos que una inversión en activos reales comporta. Existen opciones que el decisor puede realizar “comprando o vendiendo proyectos en un determinado período” que amortiguan los efectos conducentes a la posible quiebra.

Sin embargo, es posible realizar algunas apreciaciones en orden a la mejora y perfección del modelo, en especial cuando se ha de aplicar a entornos y situaciones que comportan riesgos elevados, obsolescencias rápidas, inversiones de reposición frecuentes, etc. En definitiva, cuando se trata de mercados ligados a las nuevas tecnologías y a sectores e industrias inmersas en fuertes desarrollos:

- ✓ Deberían considerarse los efectos de propagación de la innovación, la mejora, la inversión en nuevas tecnologías, etc.
- ✓ Merecerían evaluarse las oportunidades de negocio que generan las tecnologías avanzadas, en términos el coste de oportunidad de las desinversiones o el retardo en la reposición de la tecnología.
- ✓ Sería interesante considerar las barreras de comunicación que conlleva la obsolescencia de equipos y tecnologías.

4. Aplicación al caso de proyectos de mejora que implican el uso de nuevas tecnologías

Estos y otros supuestos modifican las hipótesis de partida de Cobb y Charnes, en concreto, los relativos a procesos estocásticos AR(1), que se adaptan a depreciaciones de los flujos elevadas y a las reglas de decisión que pasan a ser más drásticas que las planteadas por ellos, tratando de recoger la elasticidad de las expectativas.

En concreto, y siguiendo las consideraciones efectuadas en el apartado anterior, en relación con los aspectos de los mercados relacionados, no recogidas en el modelo de Cobb y Charnes, se proponen las siguientes adaptaciones:

- ✓ La propagación de la innovación es posible reflejarla a través de la función logística.
- ✓ El coste de oportunidad por el retraso tecnológico, podría ser considerado a partir de las hipótesis en relación con las variables estocásticas; por ejemplo, haciendo depender ϕ_R de la pendiente del ciclo de la tecnología y, por tanto, del tiempo. Se trataría de una penalización por la incorporación a una nueva tecnología en una fase ulterior de su ciclo.
- ✓ Las expectativas constituyen ya parte relevante de los modelos macro y microeconómicos. En el propuesto pueden reflejarse utilizando patrones de expectativas, que pueden aportar valores de elasticidad determinados y que afectarían al coeficiente de relación entre ambas variables aleatorias (cantidades demandadas y ganancias).
- ✓ En procesos con elevada obsolescencia, las inversiones y su mantenimiento deben formar parte de los diferentes flujos de efectivo, exigir fondos de amortización elevados y una medida de la oportunidad de realizar la inversión en términos de coste del pasivo. No se

trataría tanto del retorno de la inversión (NPV), como de la consistencia y potencial del negocio. La inversión deja de ser considerada como un hecho puntual o singular y pasa a diluirse en el tiempo y a ser contemplada como el soporte financiero y de mercado del negocio. No se trataría tanto como un problema de liquidez del activo como de filosofía o vocación de negocio.

5. Conclusiones

El modelo de Cobb y Charnes sugiere una buena aproximación para, calculando el NPV en base a múltiples combinaciones de variables de decisión, basadas en los valores de los flujos de caja anteriores (criterios observables), obtener una regla de decisión que maximiza el NPV medio de la cartera de proyectos de inversión en activos reales.

En el caso de proyectos de mejora que implican el uso de nuevas tecnologías, se plantean escenarios de alto riesgo. Además de la determinación de la regla de decisión óptima y la observación de las relaciones entre el resultado y los supuestos estocásticos, se han planteado correcciones al modelo de Cobb y Charnes, que suponen nuevas orientaciones que se separan de las consideraciones convencionales. La propagación de la inversión, el coste de oportunidad del retraso tecnológico, la inclusión de la elasticidad de las expectativas y la evaluación de la consistencia del negocio exigen además de la consideración de variables de decisión, la interactividad del modelo con el experto, con el planificador y con el estratega. Estas nuevas consideraciones pueden explicar los resultados tan dispersos observados en el campo de las nuevas tecnologías donde situaciones de burbujas tecnológicas siguen otras de desarrollos explosivos. La explicación puede ser la desaparición de las inercias de los mercados históricos y, en consecuencia, la labilidad de los ϕ_R y las mayores dispersiones de las variables estocásticas, σ_B y σ_R . Se trataría de procesos de nacimiento y muerte a ritmos elevados y sin apenas amortiguación. Estas conclusiones alertan sobre la desconexión aparente entre las expectativas generadas en los mercados de valores por las NT y los rendimientos y los flujos de servicios reales que se miden en los entornos de producción.

Referencias

- Black, F.; Scholes, M. (1973). The Pricing of Options and corporate liabilities. *Journal of Political Economy* 81: 637-659
- Cobb, B. R.; Charnes, J.M. (2003). *Proceedings of the 2003 Winter Simulation Conference*. S. Chik, P.J. Sánchez, 343-350.
- Laguna, M.; Glover, F.; Kelly, J.P. (1996). New advances and applications of combining simulation and optimization. In *Proceedings of the 1996 Winter Simulation Conference*, Ed. Charnes, J.M.; Morrice, D.J.; Brunner, D.T.; Swain, J.J. 144-152. Piscataway, New Jersey: Institute of Electrical and Electronic Engineers.