

Influential Article Review - A Binomial Compound Option Approach to Modeling Sequential R&D Investments

Donald Carey

Zayn Daugherty

Georgie Sutherland

This paper examines research and development. We present insights from a highly influential paper. Here are the highlights from this paper: In this paper, we propose a binomial approach to modeling sequential R&D investments. More specifically, we present a compound real options approach, simplifying the existing valuation methodology. Based upon the same set of assumptions as prior models, we show that the number of computational steps for valuing any compound option can be reduced to a single step. We demonstrate the applicability of our approach using the real-world example of valuing a new drug application. Overall, our work provides a heuristic framework for fostering the adoption of binomial compound option valuation techniques in R&D management. For our overseas readers, we then present the insights from this paper in Spanish, French, Portuguese, and German.

Keywords: Research and development, Real options, Compound options, Resource allocation, Binomial model

SUMMARY

- We apply the direct duplication approach to the Kellogg and Charnes NDA example, thus demonstrating the applicability of our approach in a real-world context. Furthermore, we can compare our approach to existing models referring to the very same example, and assess the practical validity of the different approaches. Note that Kellogg and Charnes do not present a compound option approach, while Cassimon et al. compute an analytical extension of the Geske model. The latter approach thus requires sophisticated modeling in Mathematica™ and does not offer an intuitive algorithm that allows management to check the plausibility of the computed results.
- To determine the value of the twofold compound option in $t = 9$, we need to duplicate its payoffs from the replicating portfolio. Applying the indirect valuation methodology suggested in existing literature on binomial compound option modeling requires a valuation of the single-fold option with an extended time to maturity from $t = 0$ to $t = 12$.
- Given that R&D investments are highly irreversible, the investments made up to a given point in time determine the firm's «commitment» to the project. We define commitment in a broad sense as all valuable resources irreversibly dedicated to a certain R&D project. However, by investing

sequentially, the initial commitment is reduced, and further investments can be deferred until uncertainty has resolved and new information about the R&D project is available. The more the sequence of investments is staged, the lower ceteris paribus the initial investment necessary to start the project while the time between two investment payments decreases. However, most projects require a «minimal investment rate» that must be sustained to keep the project alive. Consequently, there are certain limits to increasing the sequentiality of the investment process.

- To analyze the effects of staging on the firm's propensity to make further investments in a real option setting, a measure of commitment is needed. Generally, the more the investments are staged, the lower the commitment to the project at a certain point in time. We therefore suggest the «leverage of the duplicating portfolio» as a measure of the firm's commitment to a given series of investments.
- We developed our proposed binomial model, answering the call of Hartmann and Hassan, who emphasize the need to «boost acceptance» of the real options approach in corporate practice. In this context, it is crucial that a valuation methodology can be easily implemented in corporate R&D management. The implementation of our model requires the following procedure, using standard spreadsheet calculation programs such as MS Excel™. First, the multiplicative binomial tree has to be modeled for the entire duration of the project. Most challenging is estimating the parameters u and d , as the option value is highly sensitive to their specification.

HIGHLY INFLUENTIAL ARTICLE

We used the following article as a basis of our evaluation:

Hauschild, B., & Reimsbach, D. (2014). Modeling sequential R&D investments: a binomial compound option approach. *Business Research*, 8(1), 39–59.

This is the link to the publisher's website:

<https://link.springer.com/article/10.1007/s40685-014-0017-5>

INTRODUCTION

R&D is key to long-term success in many industries such as the pharmaceutical sector. However, effectively allocating resources to the most valuable R&D project(s) is challenging (Hartmann and Hassan 2006). Valuing (sequential) R&D projects has thus received much attention in academia and corporate practice (e.g., Amram et al. 2006; Cassimon et al. 2011a; Nichols 1994). In this regard, it is well acknowledged among researchers and practitioners that R&D investments represent real options to the investing firm (Huchzermeier and Loch 2001; Koussis et al. 2013; Pennings and Lint 1997; Perlitz et al. 1999). As such, R&D projects typically do not lead to immediate cash flows but open up further investment opportunities. Traditional valuation methodologies fail to capture this option-like flexibility though (Bowman and Moskowitz 2001; Pennings and Lint 1997). Consequently, calculating real option values and incorporating these values when analyzing whether to fund the respective investments has been called for in the academic literature for decades (Denison et al. 2012).

Albeit this potential of real options valuation, numerous studies have shown that many firms do not explicitly incorporate the real options approach in allocating R&D resources (e.g., Baker et al. 2011; Bennouna et al. 2010; Block 2007; Graham and Harvey 2001). However, in some industries like the pharmaceutical sector, real options analysis seemingly found its place in the method set as an auxiliary valuation tool:Footnote1 Hartmann and Hassan (2006), in their study of leading international research-based pharmaceutical and biotech companies, find that roughly one quarter of the surveyed R&D managers use real options analysis as a valuation method. Among the obstacles to more widespread adoption of real options analysis, the complexity of option pricing models and a perceived lack of transparency stand out (Hartmann and Hassan 2006, for further evidence, see Baker et al. 2011; Bowman and Moskowitz 2001;

Lander and Pinches 1998). Thus, continuous-time analytical option pricing models in particular are characterized by “low practical validity” (Worren et al. 2002) because of their advanced, intransparent valuation algorithms (Lander and Pinches 1998; Triantis 2005). Consequently, Hartmann and Hassan (2006: 353) emphasize that “academia is challenged to develop more adequate models to boost acceptance,” and they emphasize the potential of binomial approaches. Binomial real options approaches do not require sophisticated continuous-time stochastic calculus (Lander and Pinches 1998) but allow scenario planning techniques to be integrated to determine possible development paths for the value of the underlying R&D project (Alessandri et al. 2004; Miller and Waller 2003). As scenario planning is one of the most common long-term planning tools in corporate practice, binomial approaches have the potential to be implemented in corporate practice. In this paper, we therefore propose a binomial compound real options approach to modeling sequential R&D investments that typically require a series of more than two irreversible investments. We increase the practical validity of current compound option models by simplifying the existing valuation methodology (see Copeland and Antikarov 2001; Copeland et al. 2005; Mun 2006). Specifically, based upon the same set of assumptions as prior models, we show that the number of computational steps for valuing a z -fold compound option can be reduced from z steps to just a single step. Our work thus provides a heuristic framework for fostering the adoption of binomial compound option valuation techniques in R&D management. However, we have to note that in the case of R&D, no (perfect) market for trading such a unique “asset” exists. This is an inherent limitation of the binomial compound option valuation technique that needs to be considered when applying the methodology in corporate practice.

We demonstrate the applicability of our approach using the real-world example of valuing a new drug application (NDA), building upon empirical data from the typical drug development process presented in Kellogg and Charnes (2000). This example has been used in various prior papers that mostly chose an analytical approach to modeling compound real options (e.g., Cassimon et al. 2004; Cassimon et al. 2011b). Thus, we can compare our approach to existing models and assess the practical validity of the different approaches.

The remainder of this paper is structured as follows. In Sect. 2, we present the Kellogg and Charnes (2000) example and we outline how such sequential R&D investments can be modeled as compound options, before we finally present our binomial model. In Sect. 3, we apply this approach to valuing the NDA as presented in Kellogg and Charnes (2000). Finally, in Sect. 4, we discuss the practical validity of our approach, we present conclusions, and we outline avenues for future research.

CONCLUSION

In this paper, we proposed an approach to modeling sequential compound options inherent in R&D projects by applying binomial lattice techniques. We argue that our binomial approach to modeling sequential compound options enhances the practical validity of the real options approach (1) by reducing the mathematical complexity compared to continuous-time analytical option pricing models, (2) by significantly reducing the number of computational steps to value a z -fold compound option from z steps (as in prior binomial approaches) to just one step, and (3) using an approach that mirrors the iterative multistage resource allocation process of sequential investment analysis, thus potentially increasing managers’ awareness of option-like rights (Driouchi and Bennett 2011). Note that (correctly) valuing real options requires an awareness of option-like rights in the first place. Furthermore, our approach shifts focus from a single initial R&D investment decision to effectively exercising the subsequent investment options (to continue the R&D project). In this context, we present the market-based leverage as a measure of the firm’s commitment to a given series of R&D investments. The leverage measure illustrates the risk-reducing effects of sequential investment projects to management, thus mitigating underinvestment problems.

There are several limitations to our suggested approach. Most of these limitations are closely related to the real options approach in general and are thus not model-specific. Most importantly, we have emphasized that in the case of R&D, no (perfect) market for trading such a unique “asset” exists. This is an inherent

limitation of the real options approach that needs to be considered when applying the methodology in corporate practice. However, prior literature states that a highly correlated tradable asset can serve as a surrogate when forming a replicating portfolio. Furthermore, the use of discrete-time binomial models comes at the cost of imposing a simplified distribution of the asset value. Estimating the parameters u and d is thus challenging, as the option value is highly sensitive to their specification. However, the same argument applies to the variance in the (analytical) models of Black and Scholes (1973) and Geske (1979). We also have to admit that we cannot ultimately predict the potential acceptance of our approach in corporate practice. However, as demonstrated in Verbeeten's (2006) study, highly uncertain environments increase firms' willingness to adopt more sophisticated capital budgeting practices. As R&D is typically associated with high levels of uncertainty, we think that implementing our approach is most likely in R&D management (also see Hartmann and Hassan 2006). Also note that although we use the example of NDA valuation, our proposed compound option model works in any iterative multistage resource allocation process. For example, valuing start-up firms whose business-model mainly builds upon R&D (e.g., biotech firms) shares many features with R&D valuation. We thus suggest that our approach can also be applied in future research to valuing such companies, whose lead R&D compound accounts for the key value driver.

APPENDIX

FIGURE 1
EXAMPLE OF SEQUENTIAL R&D INVESTMENT

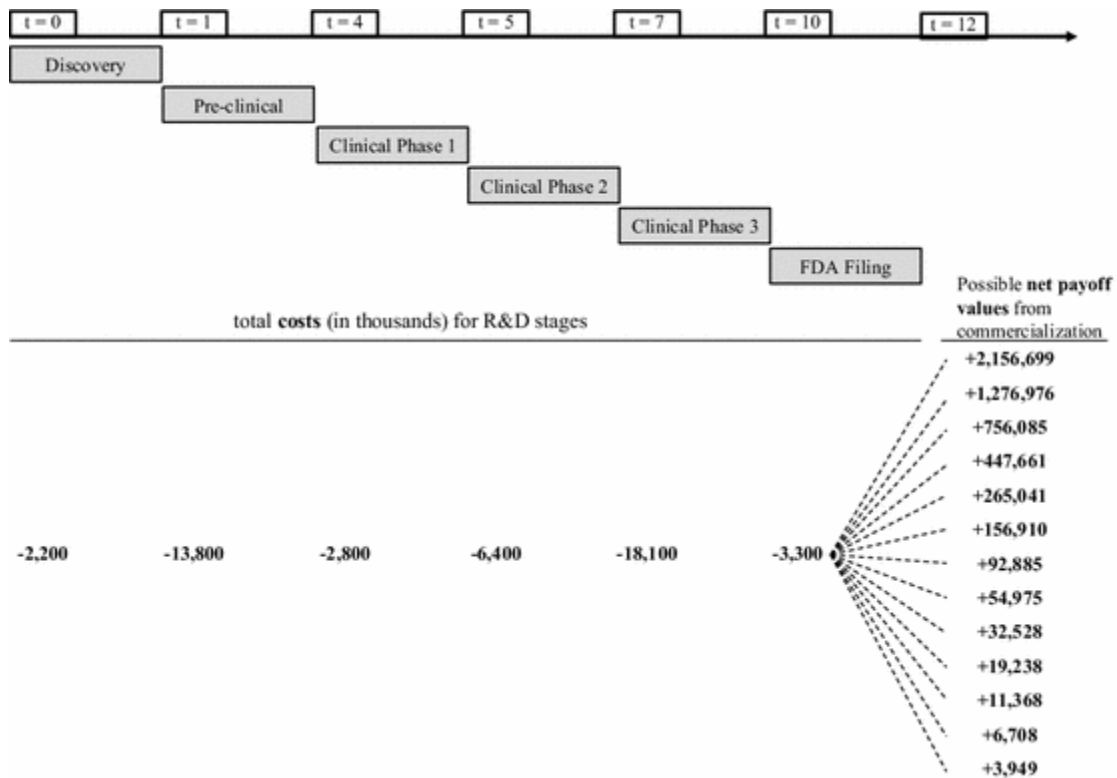
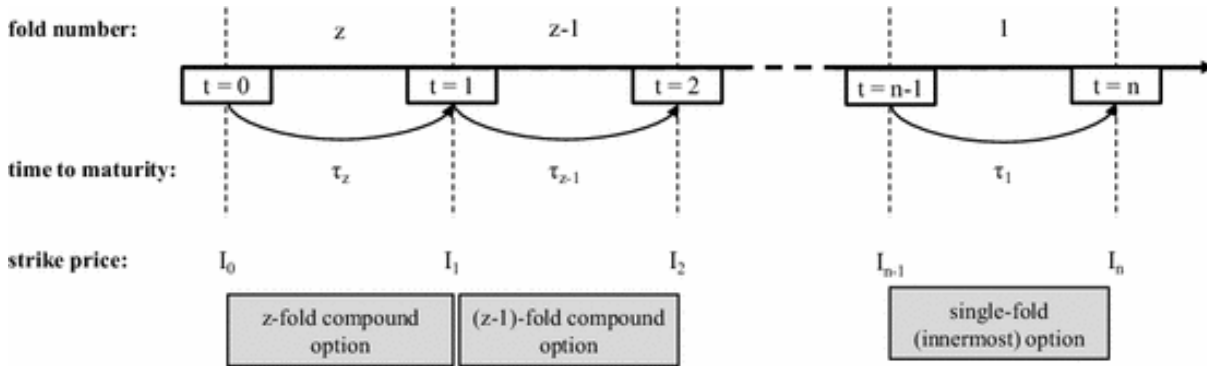


FIGURE 2

VALUING SEQUENTIAL INVESTMENTS AS COMPOUND OPTION



Adapted from Lee et al. 2008: 48

FIGURE 3
BINOMIAL LATTICE OF THE DRUG DEVELOPMENT PROCESS

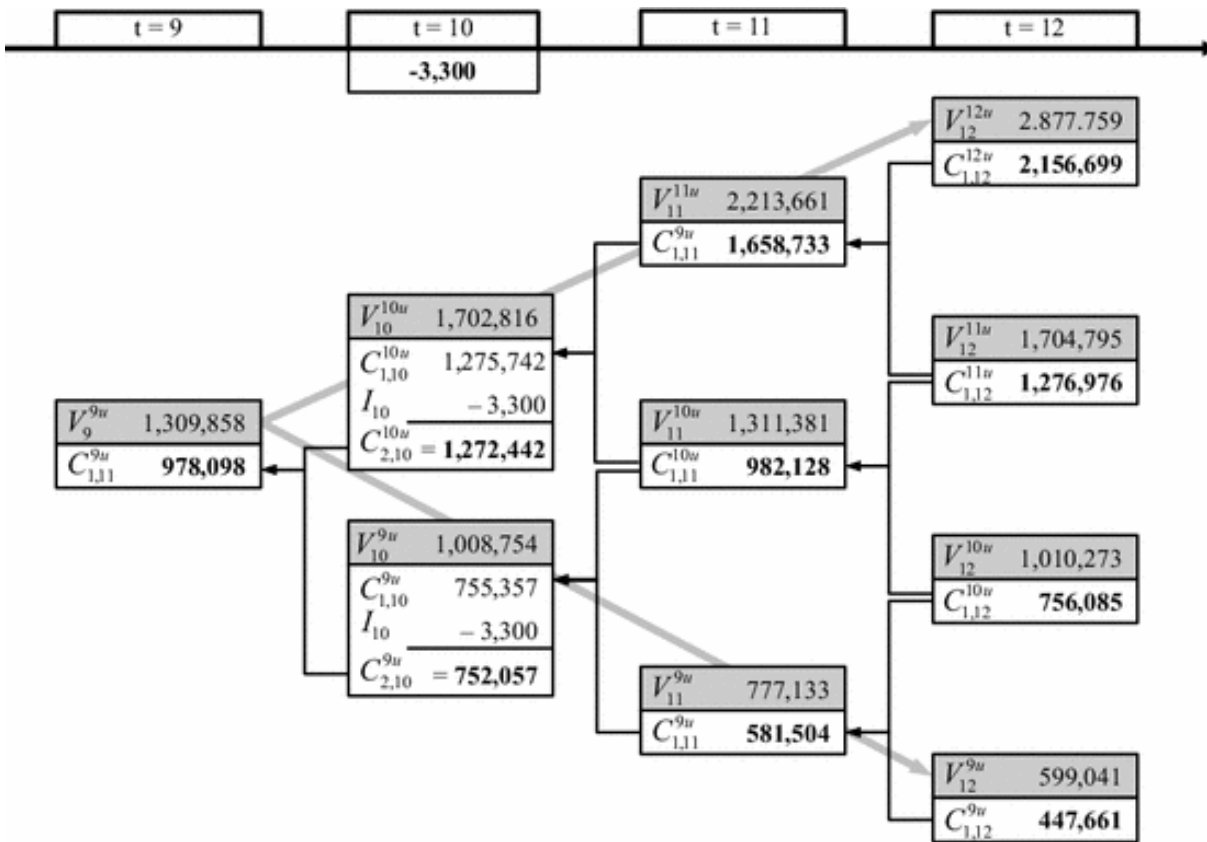


FIGURE 4

L, M*, AND B* OF THE DUPLICATING PORTFOLIO IN THE BEST-CASE PATH

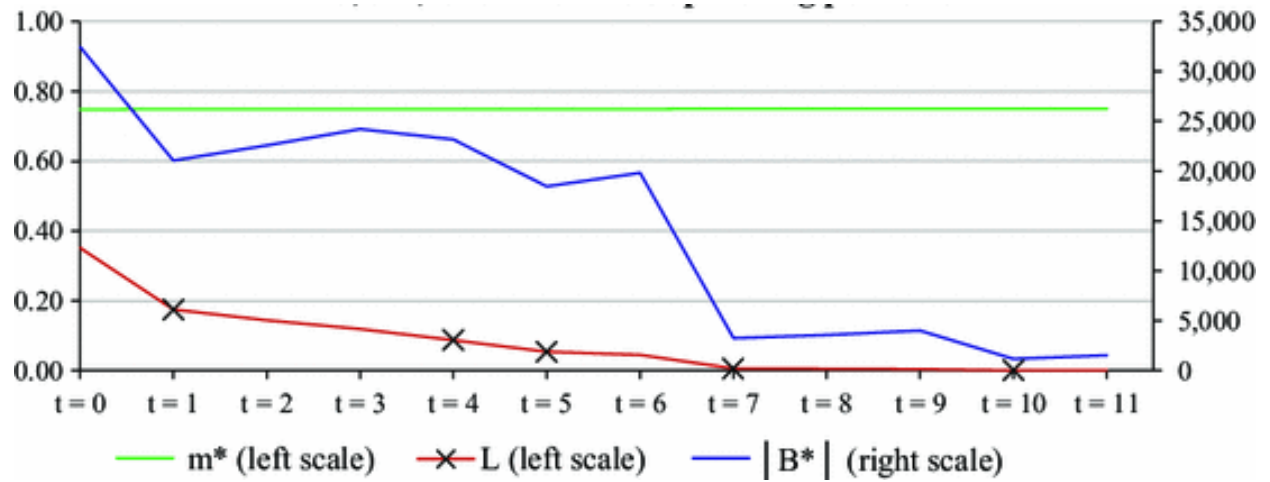
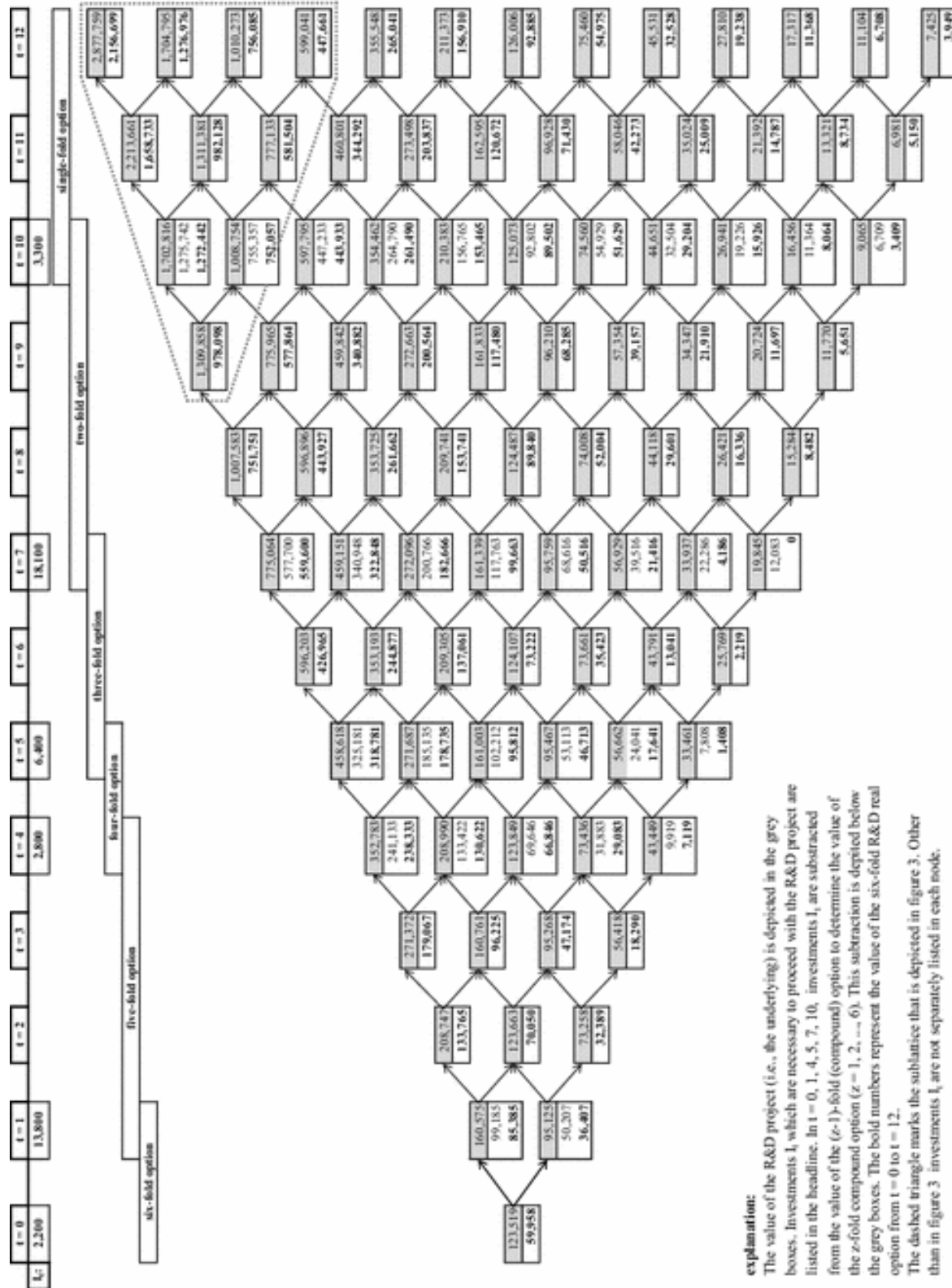


FIGURE 5
SIXFOLD COMPOUND OPTION VALUE

REFERENCES



explanation:

The value of the R&D project (i.e., the underlying) is depicted in the grey boxes. Investments I_t which are necessary to proceed with the R&D project are listed in the headline. In $t = 0, 1, 4, 5, 7, 10$, investments I_t are subtracted from the value of the $(z-1)$ -fold (compound) option to determine the value of the z -fold compound option ($z = 1, 2, \dots, 6$). This subtraction is depicted below the grey boxes. The bold numbers represent the value of the six-fold R&D real option from $t = 0$ to $t = 12$.

The dashed triangle marks the sub-lattice that is depicted in figure 3. Other than in figure 3 investments I_t are not separately listed in each node.

- Alessandri, Todd M., David N. Ford, Diane M. Lander, Karyl B. Leggio, and Marilyn Taylor. 2004. Managing risk and uncertainty in complex capital projects. *The Quarterly Review of Economics and Finance* 44(5): 751–767.
- Amram, Martha, Fanfu Li, and Cheryl A. Perkins. 2006. How Kimberly-Clark Uses Real Options. *Journal of Applied Corporate Finance* 18(2): 40–47.
- Baker, H.Kent, Shantanu Dutta, and Samir Saadi. 2011. Management views on real options in capital budgeting. *Journal of Applied Finance* 21(1): 18–29.
- Bar-Ilan, Avner, and William C. Strange. 1998. A model of sequential investment. *Journal of Economic Dynamics and Control* 22(3): 437–463.
- Benaroch, Michel, Sandeep Shah, and Mark Jeffery. 2006. On the valuation of multistage information technology investments embedding nested real options. *Journal of Management Information Systems* 23(1): 239–261.
- Bennouna, Karim, Geoffrey G. Meredith, and Teresa Marchant. 2010. Improved capital budgeting decision making: Evidence from Canada. *Management Decision* 48(2): 225–247.
- Black, Fischer, and Merton Scholes. 1973. The pricing of options and corporate liabilities. *Journal of political economy* 81: 637–654.
- Block, Stanley. 2007. Are real options actually used in the real world? *The Engineering Economist* 52(3): 255–267.
- Bowman, Edward H., and Gary T. Moskowitz. 2001. Real options analysis and strategic decision making. *Organization Science* 12(6): 772–777.
- Bremser, Wayne G., and Noah P. Barsky. 2004. Utilizing the balanced scorecard for R&D performance measurement. *R and D Management* 34(3): 229–238.
- Carr, Peter. 1988. The valuation of sequential exchange opportunities. *The Journal of Finance* 43(5): 1235–1256.
- Cassimon, D., M. de Backer, P.J. Engelen, M. van Wouwe, and V. Yordanov. 2011a. Incorporating technical risk in compound real option models to value a pharmaceutical R&D licensing opportunity. *Research Policy* 40(9): 1200–1216.
- Cassimon, D., P.J. Engelen, and V. Yordanov. 2011b. Compound real option valuation with phase-specific volatility: A multi-phase mobile payments case study. *Technovation* 31(5–6): 240–255.
- Cassimon, D., P.J. Engelen, L. Thomassen, and M. van Wouwe. 2004. The valuation of a NDA using a 6-fold compound option. *Research Policy* 33(1): 41–51.
- Copeland, Thomas E., and Vladimir Antikarov. 2001. *Real options: A practitioner's guide*. New York: Texere.
- Copeland, Thomas E., J.F. Weston, and Kuldeep Shastri. 2005. *Financial theory and corporate policy*, 4th ed. Boston: Addison-Wesley.
- Cox, John C., Stephen A. Ross, and Mark Rubinstein. 1979. Option pricing: A simplified approach. *Journal of Financial Economics* 7(3): 229–263.
- Crama, Pascale, Bert de Reyck, and Zeger Degraeve. 2013. Step by step. The benefits of stage-based R&D licensing contracts. *European Journal of Operational Research* 224(3): 572–582.
- Davis, Mark, Walter Schachermayer, and Robert G. Tompkins. 2004. The evaluation of venture capital as an instalment option: Valuing real options using real options. *Journal of Business Economics* 74(3): 77–96.
- Denison, Christine A., Anne M. Farrel, and Kevin E. Jackson. 2012. Managers' incorporation of the value of real options into their long-term investment decisions: An experimental investigation. *Contemporary Accounting Research* 29(2): 590–620.
- DiMasi, Joseph A., Ronald W. Hansen, Henry G. Grabowski, and Louis Lasagna. 1991. Cost of innovation in the pharmaceutical industry. *Journal of Health Economics* 10: 107–142.
- Driouchi, Tarik, and David Bennett. 2011. Real options in multinational decision-making: Managerial awareness and risk implications. *Journal of World Business* 46(2): 205–219.
- Garman, Mark B. 1976. An algebra for evaluating hedge portfolios. *Journal of Financial Economics* 3(4): 403–427.

- Geske, Robert. 1979. The valuation of compound options. *Journal of Financial Economics* 7(1): 63–81.
- Ghemawat, Pankaj. 1991. *Commitment: The dynamic of strategy*. New York: Free Press.
- Ghosh, Suvankar, and D. Troutt Marvin. 2012. Complex compound option models. Can practitioners truly operationalize them. *European Journal of Operational Research* 222(3): 542–552.
- Goel, Rajeev K., and Rati Ram. 2001. Irreversibility of R&D investment and the adverse effect of uncertainty: Evidence from the OECD countries. *Economics Letters* 71(2): 287–291.
- Gong, James J., Wim A. van der Stede, and Mark S. Young. 2011. real options in the motion picture industry: Evidence from film marketing and sequels. *Contemporary Accounting Research* 28(5): 1438–1466.
- Graham, John R., and Campbell R. Harvey. 2001. The theory and practice of corporate finance: Evidence from the field. *Journal of Financial Economics* 60(2–3): 187–243.
- Hartmann, Marcus, and Ali Hassan. 2006. Application of real options analysis for pharmaceutical R&D project valuation—empirical results from a survey. *Research Policy* 35(3): 343–354.
- Huchzermeier, Arnd, and Christoph H. Loch. 2001. Project management under risk: Using the real options approach to evaluate flexibility in R&D. *Management Science* 47(1): 85–101.
- Kellogg, David, and John M. Charnes. 2000. Real-options valuation for a biotechnology company. *Financial analysts journal* 56(3): 76–84.
- Klingebiel, Ronald, and Ron Adner (2012): *Real Options Logic Revisited: Disentangling Sequential Investment, Low-Commitment Strategies, and Resource Re-Allocation Reality*, Hanover.
- Kort, Peter M., Pauli Murto, and Grzegorz Pawlina. 2010. Uncertainty and stepwise investment. *European Journal of Operational Research* 202(1): 196–203.
- Koussis, Nicos, Spiros H. Martzoukos, and Lenos Trigeorgis. 2013. Multi-stage product development with exploration, value-enhancing, preemptive and innovation options. *Journal of Banking and Finance* 37(1): 174–190.
- Lander, Diane M., and George E. Pinches. 1998. Challenges to the practical implementation of modeling and valuing real options. *The Quarterly Review of Economics and Finance* 38(3): 537–567.
- Lee, Meng-Yu., Fang-Bo Yeh, and An-Pin Chen. 2008. The generalized sequential compound options pricing and sensitivity analysis. *Mathematical Social Sciences* 55(1): 38–54.
- Lin, William T. 2002. Computing a multivariate normal integral for valuing compound real options. *Review of Quantitative Finance and Accounting* 18(2): 185–209.
- Liu, Yu-Hong. 2010. Valuation of the compound option when the underlying asset is non-tradable. *International Journal of Theoretical and Applied Finance* 13(3): 441–458.
- Majd, Saman, and Robert S. Pindyck. 1987. Time to build, option value, and investment decisions. *Journal of Financial Economics* 18(1): 7–27.
- Mathews, Scott. 2009. Valuing risky projects with real options. *Research technology management* 52(5): 32–41.
- McDonald, Robert, and Daniel Siegel. 1984. Option pricing when the underlying asset earns a below-equilibrium rate of return: A note. *The Journal of Finance* 39(1): 261–265.
- Miller, Kent D., and H. Gregory Waller. 2003. Scenarios. *Real options and integrated risk management, long range planning* 36(1): 93–107.
- Miller, Peter, and Ted O’Leary. 2005. Managing operational flexibility in investment decisions: The case of intel. *Journal of Applied Corporate Finance* 17(2): 87–93.
- Mölls, Sascha H., and Karl-Heinz Schild. 2012. Decision-making in sequential projects: expected time-to-build and probability of failure. *Review of Quantitative Finance and Accounting* 39(1): 1–25.
- Mun, Johnathan. 2006. *Real options analysis: Tools and techniques for valuing strategic investments and decisions*, 2nd ed. Hoboken: Wiley.
- Myers, Stewart, C, and Christopher D. Howe. 1997. *A life-cycle financial model of pharmaceutical R&D*. Program on the Pharmaceutical Industry, Sloan School of Management, Massachusetts Institute of Technology.
- Naik, Vasanttilak, and Raman Uppal. 1994. Leverage constraints and the optimal hedging of stock and bond options. *The Journal of Financial and Quantitative Analysis* 29(2): 199–222.

- Nau, Robert F, and Kevin F. 1991. McCardle: Arbitrage, rationality, and equilibrium. *Theory and Decision*, 31(2–3): 199–240.
- Nichols, Nancy A. 1994. Scientific management at Merck: An interview with CFO Judy Lewent. *Harvard Business Review* 72(1): 88–99.
- Paddock, James L., L. James, Daniel R. Siegel, and James L. Smith. 1988. Option valuation of claims on real assets: The case of offshore petroleum leases. *The Quarterly Journal of Economics* 103(3): 479–508.
- Panayi, Sylvia, and Lenos, Trigeorgis. 1998. Multi-stage real options: The cases of information technology infrastructure and international bank expansion. *The Quarterly Review of Economics and Finance*, 38 (Special issue): 675–692.
- Pennings, Enrico, and Luigi Sereno. 2011. Evaluating pharmaceutical R&D under technical and economic uncertainty. *European Journal of Operational Research* 212(2): 374–385.
- Pennings, Enrico, and Onno Lint. 1997. The option value of advanced R&D. *European Journal of Operational Research* 103(1): 83–94.
- Perlitz, Manfred, Thorsten Peske, and Randolph Schrank. 1999. Real options valuation: The new frontier in R&D project evaluation? *R&D Management* 29(3): 255–270.
- Pindyck, Robert S. 1991. Irreversibility, uncertainty, and investment. *Journal of Economic Literature* 29(3): 1110–1148.
- Rendleman, Richard J., and Brit J. Bartter. 1979. Two-state option pricing. *The Journal of Finance* 34(5): 1093–1110.
- Ross, Stephen A. 1978. A simple approach to the valuation of risky streams. *The Journal of Business* 51(3): 453–475.
- Rubinstein, Mark. 1999. *Rubinstein on derivatives*. London: Risk Books.
- Schneider, Malte, Mauricio Tejada, Gabriel Dondi, Florian Herzog, Simon Keel, and Hans Geering. 2008. Making real options work for practitioners: a generic model for valuing R&D projects. *R&D management* 38(1): 85–106.
- Smith, Michael J. 2007. Accounting conservatism and real options. *Journal of Accounting Auditing Finance* 22(3): 449–467.
- Sull, Donald N. 2003. Managing by commitments. *Harvard Business Review* 81(6): 82–91.
- Triantis, Alexander. 2005. Realizing the potential of real options: does theory meet practice? *Journal of Applied Corporate Finance* 17(2): 8–16.
- Trigeorgis, Lenos. 1993. The nature of option interactions and the valuation of investments with multiple real options. *The Journal of Financial and Quantitative Analysis* 28(1): 309–326.
- Trigeorgis, Lenos. 1996. *Real options: Managerial flexibility and strategy in resource allocation*. Cambridge, MA, MIT Press.
- Verbeeten, Frank H. 2006. Do organizations adopt sophisticated capital budgeting practices to deal with uncertainty in the investment decision? *Management Accounting Research* 17(1): 106–120.
- Woolley, Simon, and Fabio Cannizzo. 2005. Taking real options beyond the black box. *Journal of Applied Corporate Finance* 17(2): 94–98.
- Worren, Nicolay, Karl Moore, and Richard Elliott. 2002. When theories become tools: Toward a framework for pragmatic validity. *Human Relations* 55(10): 1227–1250.

TRANSLATED VERSION: SPANISH

Below is a rough translation of the insights presented above. This was done to give a general understanding of the ideas presented in the paper. Please excuse any grammatical mistakes and do not hold the original authors responsible for these mistakes.

VERSION TRADUCIDA: ESPAÑOL

A continuación se muestra una traducción aproximada de las ideas presentadas anteriormente. Esto se hizo para dar una comprensión general de las ideas presentadas en el documento. Por favor, disculpe cualquier error gramatical y no responsabilite a los autores originales de estos errores.

INTRODUCCIÓN

La I+D es clave para el éxito a largo plazo en muchas industrias, como el sector farmacéutico. Sin embargo, la asignación efectiva de recursos a los proyectos de I+D más valiosos es un reto (Hartmann y Hassan 2006). Por lo tanto, la valoración de proyectos de I+D (secuenciales) ha recibido mucha atención en el ámbito académico y la práctica corporativa (por ejemplo, Amram et al. 2006; 2011a; Nichols 1994). A este respecto, es bien reconocido entre los investigadores y profesionales que las inversiones en I+D representan opciones reales para la empresa de inversión (Huchzermeier y Loch 2001; Koussis et al. 2013; Pennings y Lint 1997; 1999). Como tal, los proyectos de I+D normalmente no conducen a flujos de efectivo inmediatos, sino que abren más oportunidades de inversión. Sin embargo, las metodologías de valoración tradicionales no logran captar esta flexibilidad similar a la de esta opción (Bowman y Moskowitz 2001; Pennings y Lint 1997). En consecuencia, el cálculo de los valores reales de las opciones y la incorporación de estos valores al analizar si se financian las inversiones respectivas se ha pedido en la literatura académica durante décadas (Denison et al. 2012).

Aunque este potencial de valoración de opciones reales, numerosos estudios han demostrado que muchas empresas no incorporan explícitamente el enfoque de opciones reales en la asignación de recursos de I+D (por ejemplo, Baker et al. 2011; 2010; Bloque 2007; Graham y Harvey 2001). Sin embargo, en algunas industrias como el sector farmacéutico, el análisis de opciones reales aparentemente encontró su lugar en el método establecido como una herramienta de valoración auxiliar: Footnote1 Hartmann y Hassan (2006), en su estudio de las principales empresas farmacéuticas y biotecnológicas basadas en la investigación internacional, encuentran que aproximadamente una cuarta parte de los gerentes de I+D encuestados utilizan el análisis de opciones reales como método de valoración. Entre los obstáculos a la adopción más generalizada de un análisis de opciones reales, destacan la complejidad de los modelos de precios de opciones y la percepción de falta de transparencia (Hartmann y Hassan 2006, para obtener más pruebas, véase Baker et al. 2011; Bowman y Moskowitz 2001; Lander y Pinches 1998). Por lo tanto, los modelos de precios de opciones analíticas de tiempo continuo en particular se caracterizan por una "baja validez práctica" (Worren et al. 2002) debido a sus algoritmos de valoración avanzados e intransparentes (Lander y Pinches 1998; Triantis 2005). En consecuencia, Hartmann y Hassan (2006: 353) subrayan que "la academia tiene el desafío de desarrollar modelos más adecuados para impulsar la aceptación", y hacen hincapié en el potencial de los enfoques binomiales. Los enfoques binomiales de opciones reales no requieren cálculo estocástico sofisticado en tiempo continuo (Lander y Pinches 1998), pero permiten integrar técnicas de planificación de escenarios para determinar posibles rutas de desarrollo para el valor del proyecto de I+D subyacente (Alessandri et al. 2004; Miller y Waller 2003). Como la planificación de escenarios es una de las herramientas de planificación a largo plazo más comunes en la práctica corporativa, los enfoques binomiales tienen el potencial de implementarse en la práctica corporativa. Por lo tanto, en este documento proponemos un enfoque binomial de opciones reales compuestas para modelar inversiones secuenciales en I+D que normalmente requieren una serie de más de dos inversiones irreversibles. Aumentamos la validez práctica de los modelos de opciones compuestas actuales simplificando la metodología de valoración existente (véanse Copeland y Antikarov 2001; 2005; Mun 2006). Específicamente, sobre la base del mismo conjunto de suposiciones que los modelos anteriores, mostramos que el número de pasos computacionales para valorar una opción compuesta de pliegue z se puede reducir de pasos z a un solo paso. Nuestro trabajo proporciona así un marco heurístico para fomentar la adopción de técnicas de valoración de opciones compuestas binomiales en la gestión de I+D. Sin embargo, debemos tener en cuenta que en el caso de la I+D, no existe un mercado (perfecto) para operar con un "activo" tan

único. Esta es una limitación inherente de la técnica de valoración de opciones compuestas binomiales que debe tenerse en cuenta al aplicar la metodología en la práctica corporativa.

Demostramos la aplicabilidad de nuestro enfoque utilizando el ejemplo del mundo real de la valoración de una nueva aplicación de medicamentos (NDA), basándose en datos empíricos del proceso típico de desarrollo de fármacos presentado en Kellogg y Charnes (2000). Este ejemplo se ha utilizado en varios documentos anteriores que en su mayoría eligieron un enfoque analítico para modelar opciones reales compuestas (por ejemplo, Cassimon et al. 2004; 2011b). Por lo tanto, podemos comparar nuestro enfoque con los modelos existentes y evaluar la validez práctica de los diferentes enfoques.

El resto de este documento se estructura de la siguiente manera. En la sección 2, presentamos el ejemplo de Kellogg y Charnes (2000) y delineamos cómo esas inversiones secuenciales en I+D pueden modelarse como opciones compuestas, antes de presentar finalmente nuestro modelo binomial. En la Sección 3, aplicamos este enfoque a la valoración del NDA tal como se presenta en Kellogg y Charnes (2000). Por último, en la Sección 4, discutimos la validez práctica de nuestro enfoque, presentamos conclusiones y esbozamos vías para futuras investigaciones.

CONCLUSIÓN

En este documento, propusimos un enfoque para modelar opciones compuestas secuenciales inherentes a proyectos de I+D mediante la aplicación de técnicas de celosía binomial. Argumentamos que nuestro enfoque binomial para modelar opciones compuestas secuenciales mejora la validez práctica del enfoque de opciones reales (1) al reducir la complejidad matemática en comparación con los modelos de precios de opciones analíticas de tiempo continuo, (2) reduciendo significativamente el número de pasos computacionales para valorar una opción compuesta de z-fold desde los pasos z (como en los enfoques binomiales anteriores) a un solo paso, y (3) utilizando un enfoque que refleja el proceso iterativo de asignación de recursos multietapa del análisis de inversión secuencial, aumentando así la conciencia de los gerentes sobre los derechos similares a las opciones (Driouchi y Bennett 2011). Tenga en cuenta que (correctamente) la valoración de las opciones reales requiere un conocimiento de los derechos similares a las opciones en primer lugar. Además, nuestro enfoque cambia el enfoque de una única decisión inicial de inversión en I+D a ejercer eficazmente las opciones de inversión subsiguientes (para continuar con el proyecto de I+D). En este contexto, presentamos el apalancamiento basado en el mercado como una medida del compromiso de la empresa con una serie determinada de inversiones en I+D. La medida de apalancamiento ilustra los efectos de reducción de riesgos de los proyectos de inversión secuenciales en la gestión, mitigando así los problemas de infrainversión.

Hay varias limitaciones a nuestro enfoque sugerido. La mayoría de estas limitaciones están estrechamente relacionadas con el enfoque de opciones reales en general y, por lo tanto, no son específicas del modelo. Lo que es más importante, hemos subrayado que en el caso de la I+D, no existe un mercado (perfecto) para operar con un "activo" tan único. Esta es una limitación inherente del enfoque de opciones reales que debe tenerse en cuenta al aplicar la metodología en la práctica corporativa. Sin embargo, la literatura anterior afirma que un activo negociable altamente correlacionado puede servir como sustituto al formar una cartera duplicada. Además, el uso de modelos binomiales en tiempos discretos se produce a costa de imponer una distribución simplificada del valor de los activos. Estimar los parámetros que usted y d son, por lo tanto, difíciles, ya que el valor de la opción es muy sensible a su especificación. Sin embargo, el mismo argumento se aplica a la varianza en los modelos (analíticos) de Black and Scholes (1973) y Geske (1979). También tenemos que admitir que en última instancia no podemos predecir la aceptación potencial de nuestro enfoque en la práctica corporativa. Sin embargo, como se demuestra en el estudio de Verbeeten (2006), los entornos altamente inciertos aumentan la voluntad de las empresas de adoptar prácticas de presupuestación de capital más sofisticadas. Dado que la I+D suele estar asociada a altos niveles de incertidumbre, creemos que la aplicación de nuestro enfoque es muy probable en la gestión de la I+D (véase también Hartmann y Hassan 2006). También tenga en cuenta que aunque utilizamos el ejemplo de valoración NDA, nuestro modelo de opción compuesta propuesto funciona en cualquier proceso iterativo de asignación de recursos multietapa. Por ejemplo, la valoración de las empresas emergentes cuyo modelo

de negocio se basa principalmente en la I+D (por ejemplo, las empresas biotecnológicas) comparte muchas características con la valoración de la I+D. Por lo tanto, sugerimos que nuestro enfoque también se puede aplicar en futuras investigaciones a la valoración de dichas empresas, cuyo compuesto principal de I+D representa el factor clave de valor.

TRANSLATED VERSION: FRENCH

Below is a rough translation of the insights presented above. This was done to give a general understanding of the ideas presented in the paper. Please excuse any grammatical mistakes and do not hold the original authors responsible for these mistakes.

VERSION TRADUITE: FRANÇAIS

Voici une traduction approximative des idées présentées ci-dessus. Cela a été fait pour donner une compréhension générale des idées présentées dans le document. Veuillez excuser toutes les erreurs grammaticales et ne pas tenir les auteurs originaux responsables de ces erreurs.

INTRODUCTION

La R-D est la clé du succès à long terme dans de nombreuses industries comme le secteur pharmaceutique. Toutefois, il est difficile d'allouer efficacement des ressources au projet(s) de R-D le plus précieux (Hartmann et Hassan, 2006). La valorisation (séquentielle) des projets de R-D a donc reçu beaucoup d'attention dans le milieu universitaire et la pratique d'entreprise (p. Ex., Amram et al., 2006; Cassimon et coll. 2011a; Nichols, 1994). À cet égard, il est bien reconnu parmi les chercheurs et les praticiens que les investissements en R-D représentent de réelles options pour la société d'investissement (Huchzermeier et Loch 2001; Koussis et coll. 2013; Pennings and Lint, 1997; Perlitz et coll. 1999). À ce titre, les projets de R-D ne conduisent généralement pas à des flux de trésorerie immédiats, mais ouvrent d'autres possibilités d'investissement. Les méthodes d'évaluation traditionnelles ne parviennent pas à saisir cette flexibilité de genre à une option (Bowman et Moskowitz, 2001; Pennings and Lint, 1997). Par conséquent, le calcul des valeurs réelles des options et l'intégration de ces valeurs lors de l'analyse de l'opportunité de financer les investissements respectifs sont demandés dans la littérature universitaire depuis des décennies (Denison et al., 2012).

Bien que ce potentiel d'évaluation des options réelles soit démontré que de nombreuses entreprises n'intègrent pas explicitement l'approche des options réelles dans l'allocation des ressources de R-D (p. Ex., Baker et coll., 2011; Bennouna et coll. 2010; Bloc 2007; Graham et Harvey, 2001). Toutefois, dans certaines industries comme le secteur pharmaceutique, l'analyse des options réelles a apparemment trouvé sa place dans la méthode définie comme un outil d'évaluation auxiliaire : Footnote1 Hartmann et Hassan (2006), dans leur étude sur les principales sociétés pharmaceutiques et biotechnologiques internationales basées sur la recherche, constatent qu'environ un quart des gestionnaires de R&D interrogés utilisent l'analyse des options réelles comme méthode d'évaluation. Parmi les obstacles à l'adoption plus répandue d'analyses d'options réelles, la complexité des modèles de tarification des options et le manque perçu de transparence ressortent (Hartmann et Hassan, 2006, pour d'autres éléments de preuve, voir Baker et coll. 2011; Bowman et Moskowitz, 2001; Lander and Pinches, 1998). Ainsi, les modèles de tarification des options analytiques en temps continu en particulier sont caractérisés par une « faible validité pratique » (Worren et al., 2002) en raison de leurs algorithmes avancés d'évaluation intransparentaux (Lander et Pinches, 1998; Triantis 2005). Par conséquent, Hartmann et Hassan (2006 : 353) soulignent que « le milieu universitaire est mis au défi de développer des modèles plus adéquats pour stimuler l'acceptation », et ils mettent l'accent sur le potentiel des approches binomiales. Les approches d'options réelles binomiales ne nécessitent pas un calcul stochastique sophistiqué en temps continu (Lander et Pinches, 1998), mais permettent d'intégrer les techniques de planification de scénarios pour déterminer les voies de développement possibles pour la valeur du projet de R-D sous-jacent (Alessandri et al., 2004; Miller et Waller, 2003). Étant dit que la

planification des scénarios est l'un des outils de planification à long terme les plus courants dans la pratique organisationnelle, les approches binomiales ont le potentiel d'être mises en œuvre dans la pratique de l'entreprise. Dans ce document, nous proposons donc une approche binomiale des options réelles composées pour modéliser les investissements séquentiels en R&D qui nécessitent généralement une série de plus de deux investissements irréversibles. Nous augmentons la validité pratique des modèles actuels d'options composées en simplifiant la méthodologie d'évaluation existante (voir Copeland et Antikarov 2001; Copeland et coll. 2005; Mun, 2006). Plus précisément, sur la base du même ensemble d'hypothèses que les modèles précédents, nous montrons que le nombre d'étapes de calcul pour la valorisation d'une option composée z -fold peut être réduit d'étapes z à une seule étape. Notre travail fournit ainsi un cadre heuristique pour favoriser l'adoption de techniques d'évaluation des options de composés binomiaux dans la gestion de la R&D. Toutefois, nous devons noter que dans le cas de la R&D, il n'existe pas de marché (parfait) pour la négociation d'un tel « actif » unique. Il s'agit d'une limitation inhérente à la technique d'évaluation des options composées binomiales qui doit être prise en considération lors de l'application de la méthodologie dans la pratique de l'entreprise.

Nous démontrons l'applicabilité de notre approche en utilisant l'exemple réel de la valorisation d'une nouvelle application de médicaments (NDA), en s'appuyant sur des données empiriques du processus typique de développement de médicaments présentés dans Kellogg et Charnes (2000). Cet exemple a été utilisé dans divers documents antérieurs qui ont surtout choisi une approche analytique pour modéliser les options réelles composées (p. Ex., Cassimon et al., 2004; Cassimon et coll. 2011b). Ainsi, nous pouvons comparer notre approche aux modèles existants et évaluer la validité pratique des différentes approches.

Le reste de ce document est structuré comme suit. Dans Sect. 2, nous présentons l'exemple Kellogg et Charnes (2000) et nous décrivons comment ces investissements séquentiels en R&D peuvent être modélisés comme des options composées, avant de présenter enfin notre modèle binomial. Dans la section 3, nous appliquons cette approche à la valorisation de la NDA telle qu'elle est présentée dans Kellogg et Charnes (2000). Enfin, dans la section 4, nous discutons de la validité pratique de notre approche, nous présentons des conclusions et nous présentons des pistes de recherche future.

CONCLUSION

Dans cet article, nous avons proposé une approche pour modéliser les options de composés séquentiels inhérentes aux projets de R&D en appliquant des techniques de treillis binomial. Nous soutenons que notre approche binomiale de la modélisation des options de composés séquentiels améliore la validité pratique de l'approche des options réelles (1) en réduisant la complexité mathématique par rapport aux modèles de tarification des options analytiques en temps continu (2) en réduisant considérablement le nombre d'étapes de calcul pour évaluer une option composée z -fold des étapes z (comme dans les approches binomiales antérieures) à une seule étape, et (3) en utilisant une approche qui reflète le processus d'allocation de ressources multi-étapes itérative de l'analyse d'investissement séquentiel, ce qui pourrait accroître la sensibilisation des gestionnaires aux droits d'option (Driouchi et Bennett 2011). Notez que (correctement) la valorisation des options réelles nécessite une prise de conscience des droits d'option en premier lieu. De plus, notre approche passe d'une seule décision initiale d'investissement en R-D à l'exercice efficace des options d'investissement subséquentes (pour poursuivre le projet de R-D). Dans ce contexte, nous présentons l'effet de levier fondé sur le marché comme une mesure de l'engagement de l'entreprise à l'égard d'une série donnée d'investissements en R-D. La mesure de levier illustre les effets de réduction des risques des projets d'investissement séquentiels pour la gestion, atténuant ainsi les problèmes de sous-investissement.

Il y a plusieurs limites à notre approche suggérée. La plupart de ces limitations sont étroitement liées à l'approche des options réelles en général et ne sont donc pas spécifiques au modèle. Plus important encore, nous avons souligné que dans le cas de la R&D, il n'existe pas de marché (parfait) pour le commerce d'un « actif » aussi unique. Il s'agit d'une limitation inhérente à l'approche des options réelles qui doit être prise en considération lors de l'application de la méthodologie dans la pratique de l'entreprise. Cependant, la littérature antérieure indique qu'un actif négociable fortement corrélé peut servir de substitut lors de la

formation d'un portefeuille de duplication. En outre, l'utilisation de modèles binomiaux à temps discret se fait au prix d'imposer une distribution simplifiée de la valeur de l'actif. L'estimation des paramètres que vous et d est donc difficile, car la valeur de l'option est très sensible à leur spécification. Toutefois, le même argument s'applique à la variance des modèles (analytiques) de Black and Scholes (1973) et Geske (1979). Nous devons également admettre que nous ne pouvons pas, en fin de compte, prédire l'acceptation potentielle de notre approche dans la pratique d'entreprise. Toutefois, comme l'a démontré l'étude de Verbeeten (2006), des environnements très incertains augmentent la volonté des entreprises d'adopter des pratiques de budgétisation d'immobilisations plus sophistiquées. Étant dit que la R&D est généralement associée à des niveaux élevés d'incertitude, nous pensons que la mise en œuvre de notre approche est très probablement dans la gestion de la R-D (voir également Hartmann et Hassan, 2006). Notez également que, bien que nous utilisons l'exemple de l'évaluation de la NDA, notre modèle d'option composé proposé fonctionne dans tout processus d'allocation des ressources itérative à plusieurs étapes. Par exemple, la valorisation des entreprises en démarrage dont le modèle d'affaires repose principalement sur la R&D (p. Ex., les entreprises de biotechnologie) partage de nombreuses caractéristiques avec l'évaluation de la R-D. Nous suggérons donc que notre approche puisse également être appliquée dans la recherche future à la valorisation de ces entreprises, dont le principal composé de R&D représente le principal facteur de valeur.

TRANSLATED VERSION: GERMAN

Below is a rough translation of the insights presented above. This was done to give a general understanding of the ideas presented in the paper. Please excuse any grammatical mistakes and do not hold the original authors responsible for these mistakes.

ÜBERSETZTE VERSION: DEUTSCH

Hier ist eine ungefähre Übersetzung der oben vorgestellten Ideen. Dies wurde getan, um ein allgemeines Verständnis der in dem Dokument vorgestellten Ideen zu vermitteln. Bitte entschuldigen Sie alle grammatikalischen Fehler und machen Sie die ursprünglichen Autoren nicht für diese Fehler verantwortlich.

EINLEITUNG

F&E ist der Schlüssel zum langfristigen Erfolg in vielen Branchen wie der Pharmabranche. Die effektive Zuweisung von Ressourcen für die wertvollsten F&E-Projekte ist jedoch eine Herausforderung (Hartmann und Hassan 2006). Die Bewertung (sequentieller) F&E-Projekte hat daher in der Wissenschaft und in der Unternehmenspraxis (z.B. Amram et al. 2006; Cassimon et al. 2011a; Nichols 1994). In dieser Hinsicht ist es bei Forschern und Praktikern sehr anerkannt, dass F&E-Investitionen echte Optionen für das Investmentunternehmen darstellen (Huchzermeier und Loch 2001; Koussis et al. 2013; Pennings und Lint 1997; Perlitz et al. 1999). F&E-Projekte führen daher in der Regel nicht zu unmittelbaren Cashflows, sondern eröffnen weitere Investitionsmöglichkeiten. Herkömmliche Bewertungsmethoden erfassen diese optionähnliche Flexibilität jedoch nicht (Bowman und Moskowitz 2001; Pennings und Lint 1997). Daher ist die Berechnung realer Optionswerte und die Einbeziehung dieser Werte bei der Analyse, ob die jeweiligen Investitionen finanziert werden sollen, in der akademischen Literatur seit Jahrzehnten gefordert (Denison et al. 2012).

Obwohl dieses Potenzial der Bewertung realer Optionen besteht, haben zahlreiche Studien gezeigt, dass viele Unternehmen bei der Zuweisung von F&E-Ressourcen nicht explizit den Ansatz der realen Optionen berücksichtigen (z. B. Baker et al. 2011; Bennouna et al. 2010; Block 2007; Graham und Harvey 2001). In einigen Branchen wie der Pharmabranche scheint die Reale Optionsanalyse jedoch ihren Platz in der Methode gefunden zu haben, die als Hilfsbewertungsinstrument festgelegt wurde: Footnote 1 Hartmann und Hassan (2006) stellen in ihrer Studie über führende internationale forschungsbasierte Pharma- und Biotech-Unternehmen fest, dass etwa ein Viertel der befragten F&E-Manager die reale Optionsanalyse als

Bewertungsmethode verwenden. Zu den Hindernissen für eine breitere Annahme der Analyse realer Optionen gehören die Komplexität von Optionspreismodellen und ein wahrgenommener Mangel an Transparenz (Hartmann und Hassan 2006, weitere Beweise finden Sie unter Baker et al. 2011; Bowman und Moskowitz 2001; Lander und Pinches 1998). So zeichnen sich insbesondere dauerzeitliche analytische Optionspreismodelle aufgrund ihrer fortschrittlichen, intransparenten Bewertungsalgorithmen (Lander und Pinches 1998; Triantis 2005). Hartmann und Hassan (2006: 353) betonen daher, dass "die Wissenschaft herausgefordert ist, adäquatere Modelle zu entwickeln, um die Akzeptanz zu steigern", und betonen das Potenzial binomialer Ansätze. Binomial real options approaches erfordern keine ausgeklügelte kontinuierliche stochastische Berechnung (Lander und Pinches 1998), sondern ermöglichen die Integration von Szenarioplanungstechniken, um mögliche Entwicklungspfade für den Wert des zugrunde liegenden F&E-Projekts zu bestimmen (Alessandri et al. 2004; Miller und Waller 2003). Da die Szenarioplanung eines der gebräuchlichsten langfristigen Planungstools in der Unternehmenspraxis ist, haben binomiale Ansätze das Potenzial, in der Unternehmenspraxis implementiert zu werden. In diesem Papier schlagen wir daher einen binomialen Ansatz für zusammengesetzte reale Optionen zur Modellierung sequenzieller F&E-Investitionen vor, die in der Regel eine Reihe von mehr als zwei irreversiblen Investitionen erfordern. Wir erhöhen die praktische Gültigkeit der aktuellen zusammengesetzten Optionsmodelle durch die Vereinfachung der bestehenden Bewertungsmethodik (siehe Copeland und Antikarov 2001; Copeland et al. 2005; Mun 2006). Insbesondere zeigen wir anhand der gleichen Annahmen wie frühere Modelle, dass die Anzahl der Rechenschritte für die Bewertung einer Z-falten-Verbindungsoption von z-Schritten auf nur einen einzigen Schritt reduziert werden kann. Unsere Arbeit bietet somit einen heuristischen Rahmen für die Förderung der Einführung von binomialen Zusammengesetzten Optionsbewertungstechniken im F&E-Management. Wir müssen jedoch beachten, dass es im Falle von F&E keinen (perfekten) Markt für den Handel mit einem derart einzigartigen "Asset" gibt. Dies ist eine inhärente Einschränkung der binomialen zusammengesetzten Optionsbewertungstechnik, die bei der Anwendung der Methodik in der Unternehmenspraxis berücksichtigt werden muss.

Wir zeigen die Anwendbarkeit unseres Ansatzes am Beispiel der Bewertung einer neuen Arzneimittelanwendung (NDA), die auf empirischen Daten aus dem typischen Arzneimittelentwicklungsprozess in Kellogg und Charnes (2000) aufbaut. Dieses Beispiel wurde in verschiedenen früheren Papieren verwendet, die sich meist für einen analytischen Ansatz zur Modellierung von zusammengesetzten realen Optionen entschieden (z. B. Cassimon et al. 2004; Cassimon et al. 2011b). So können wir unseren Ansatz mit bestehenden Modellen vergleichen und die praktische Gültigkeit der verschiedenen Ansätze bewerten.

Der Rest dieses Papiers ist wie folgt aufgebaut. In Abschnitt 2 stellen wir das Beispiel Kellogg und Charnes (2000) vor und skizzieren, wie solche sequenziellen F&E-Investitionen als zusammengesetzte Optionen modelliert werden können, bevor wir schließlich unser Binomialmodell vorstellen. In Abschnitt 3 wenden wir diesen Ansatz zur Bewertung der NDA an, wie sie in Kellogg und Charnes (2000) vorgestellt wurde. Schließlich diskutieren wir in Abschnitt 4 die praktische Gültigkeit unseres Ansatzes, stellen Schlussfolgerungen vor und skizzieren Wege für die zukünftige Forschung.

SCHLUSSFOLGERUNG

In diesem Beitrag haben wir einen Ansatz zur Modellierung sequenzieller zusammengesetzter Optionen vorgeschlagen, die F&E-Projekten inhärent sind, indem binomiale Gittertechniken angewendet werden. Wir argumentieren, dass unser binomialer Ansatz zur Modellierung sequenzieller zusammengesetzter Optionen die praktische Gültigkeit des Ansatzes für reale Optionen (1) verbessert, indem die mathematische Komplexität im Vergleich zu Preismodellen für kontinuierliche analytische Optionsoptionen reduziert wird, (2) indem die Anzahl der Berechnungsschritte zur Bewertung einer Z-falten-Verbindungsoption von z-Schritten (wie bei früheren binomialen Ansätzen) auf nur einen Schritt reduziert wird, und (3) mit einem Ansatz, der den iterativen Multistage-Ressourcenzuweisungsprozess der sequenziellen, wodurch das Bewusstsein der Manager für optionsähnliche Rechte potenziell erhöht wird (Driouchi und Bennett 2011). Beachten Sie, dass die (richtige) Bewertung realer Optionen in erster Linie ein Bewusstsein für

optionsähnliche Rechte erfordert. Darüber hinaus verschiebt unser Ansatz den Fokus von einer einzigen anfänglichen F&E-Investitionsentscheidung auf die effektive Ausübung der nachfolgenden Investitionsoptionen (um das F&E-Projekt fortzusetzen). In diesem Zusammenhang stellen wir die marktbasierende Hebelwirkung als Maß für das Engagement des Unternehmens für eine bestimmte Reihe von F&E-Investitionen vor. Die Hebelwirkung veranschaulicht die risikomindernden Auswirkungen sequenzieller Investitionsprojekte auf das Management und mildert so unterinvestitionsprobleme.

Unser ansatzvorgeschlagener Ansatz hat mehrere Einschränkungen. Die meisten dieser Beschränkungen stehen in engem Zusammenhang mit dem Ansatz der realen Optionen im Allgemeinen und sind daher nicht modellspezifisch. Am wichtigsten ist, dass wir betont haben, dass es im Falle von F&E keinen (perfekten) Markt für den Handel mit einem so einzigartigen "Asset" gibt. Dies ist eine inhärente Einschränkung des Ansatzes für reale Optionen, der bei der Anwendung der Methodik in der Unternehmenspraxis berücksichtigt werden muss. In der früheren Literatur wird jedoch darauf hin, dass ein stark korrelierter handelbarer Vermögenswert als Ersatz dienen kann, wenn ein duplizierendes Portfolio gebildet wird. Darüber hinaus geht die Verwendung von binomialen Modellen für die diskrete Zeit zu Kosten einer vereinfachten Verteilung des Anlagenwerts. Die Schätzung der Parameter, die σ und d sind, ist daher eine Herausforderung, da der Optionswert sehr empfindlich auf ihre Spezifikation reagiert. Dasselbe Argument gilt jedoch für die Varianz in den (analytischen) Modellen von Black and Scholes (1973) und Geske (1979). Wir müssen auch zugeben, dass wir die mögliche Akzeptanz unseres Ansatzes in der Unternehmenspraxis letztlich nicht vorhersagen können. Wie jedoch in verbeetens Studie (2006) gezeigt wurde, erhöhen hochunsichere Umgebungen die Bereitschaft der Unternehmen, anspruchsvollere Kapitalbudgetierungspraktiken anzuwenden. Da F&E typischerweise mit einer hohen Unsicherheit verbunden ist, sind wir der Meinung, dass die Umsetzung unseres Ansatzes im F&E-Management am wahrscheinlichsten ist (siehe auch Hartmann und Hassan 2006). Beachten Sie auch, dass unser vorgeschlagenes zusammengesetztes Optionsmodell, obwohl wir das Beispiel der NDA-Bewertung verwenden, in jedem iterativen mehrstufigen Ressourcenzuordnungsprozess funktioniert. So teilt beispielsweise die Bewertung von Start-up-Unternehmen, deren Geschäftsmodell hauptsächlich auf F&E (z. B. Biotech-Unternehmen) aufbaut, viele Merkmale mit F&E-Bewertung. Wir schlagen daher vor, dass unser Ansatz auch in der zukünftigen Forschung zur Bewertung solcher Unternehmen eingesetzt werden kann, deren führende F&E-Verbindung den wichtigsten Werttreiber ausmacht.

TRANSLATED VERSION: PORTUGUESE

Below is a rough translation of the insights presented above. This was done to give a general understanding of the ideas presented in the paper. Please excuse any grammatical mistakes and do not hold the original authors responsible for these mistakes.

VERSÃO TRADUZIDA: PORTUGUÊS

Aqui está uma tradução aproximada das ideias acima apresentadas. Isto foi feito para dar uma compreensão geral das ideias apresentadas no documento. Por favor, desculpe todos os erros gramaticais e não responsabilize os autores originais responsáveis por estes erros.

INTRODUÇÃO

A P&D é a chave para o sucesso a longo prazo em muitas indústrias, como o setor farmacêutico. No entanto, efetivamente alocar recursos para o mais valioso projeto de P&D é desafiador (Hartmann e Hassan 2006). A valorização (sequencial) projetos de P&D tem recebido muita atenção na academia e na prática corporativa (por exemplo, Amram et al. 2006; Cassimon et al. 2011a; Nichols 1994). Nesse sentido, é bem reconhecido entre pesquisadores e profissionais que os investimentos em P&D representam opções reais para a empresa de investimentos (Huchzermeier e Loch 2001; Koussis et al. 2013; Pennings e Lint 1997; Perlitz et al. 1999). Como tal, os projetos de P&D normalmente não levam a fluxos de caixa imediatos, mas abrem mais oportunidades de investimento. As metodologias tradicionais de avaliação não conseguem

capturar essa flexibilidade semelhante a uma opção (Bowman e Moskowitz 2001; Pennings e Lint 1997). Consequentemente, calcular valores reais de opções e incorporar esses valores ao analisar se financiar os respectivos investimentos é solicitado na literatura acadêmica há décadas (Denison et al. 2012).

Embora esse potencial de avaliação de opções reais, inúmeros estudos têm demonstrado que muitas empresas não incorporam explicitamente a abordagem de opções reais na alocação de recursos de P&D (por exemplo, Baker et al. 2011; Bennouna et al. 2010; Bloco 2007; Graham e Harvey 2001). No entanto, em algumas indústrias como o setor farmacêutico, a análise de opções reais aparentemente encontrou seu lugar no método definido como uma ferramenta auxiliar de avaliação:Footnote1 Hartmann e Hassan (2006), em seu estudo das principais empresas farmacêuticas e biotecnológicas baseadas em pesquisa internacional, constataam que cerca de um quarto dos gerentes de P&D pesquisados usam a análise de opções reais como método de avaliação. Entre os obstáculos à adoção mais difundida da análise de opções reais, destacam-se a complexidade dos modelos de preços de opções e a percepção de falta de transparência (Hartmann e Hassan 2006, para mais evidências, ver Baker et al. 2011; Bowman e Moskowitz 2001; Lander and Pinches 1998). Assim, os modelos de preços de opções analíticas em tempo contínuo, em particular, são caracterizados por "baixa validade prática" (Worren et al. 2002) devido aos seus algoritmos avançados de avaliação intransparente (Lander e Pinches 1998; Triantis 2005). Consequentemente, Hartmann e Hassan (2006: 353) enfatizam que "a academia é desafiada a desenvolver modelos mais adequados para impulsionar a aceitação", e enfatizam o potencial das abordagens binomiais. As abordagens de opções reais binomiais não exigem cálculos estocásticos de tempo contínuo sofisticados (Lander e Pinches 1998), mas permitem que técnicas de planejamento de cenários sejam integradas para determinar possíveis caminhos de desenvolvimento para o valor do projeto de P&D subjacente (Alessandri et al. 2004; Miller e Waller 2003). Como o planejamento de cenários é uma das ferramentas de planejamento de longo prazo mais comuns na prática corporativa, as abordagens binomiais têm potencial para serem implementadas na prática corporativa. Neste artigo, propomos, portanto, uma abordagem de opções reais de composto binômio para modelar investimentos sequenciais de P&D que normalmente requerem uma série de mais de dois investimentos irreversíveis. Aumentamos a validade prática dos modelos atuais de opções compostas simplificando a metodologia de avaliação existente (ver Copeland e Antikarov 2001; Copeland et al. 2005; Mun 2006). Especificamente, com base no mesmo conjunto de premissas dos modelos anteriores, mostramos que o número de etapas computacionais para a valorização de uma opção de composto z-fold pode ser reduzido de passos z para apenas um único passo. Nosso trabalho fornece, assim, uma estrutura heurística para fomentar a adoção de técnicas de avaliação de opções de compostos binomiais na gestão de P&D. No entanto, temos que notar que, no caso de P&D, não existe nenhum mercado (perfeito) para negociação de um "ativo" tão único. Trata-se de uma limitação inerente à técnica de avaliação de opções de compostos binômio que precisa ser considerada na aplicação da metodologia na prática corporativa.

Demonstramos a aplicabilidade de nossa abordagem usando o exemplo do mundo real de valorização de uma nova aplicação de medicamentos (NDA), baseando-se em dados empíricos do processo típico de desenvolvimento de medicamentos apresentado em Kellogg e Charnes (2000). Este exemplo tem sido usado em vários artigos anteriores que escolheram principalmente uma abordagem analítica para modelar opções reais compostas (por exemplo, Cassimon et al. 2004; Cassimon et al. 2011b). Assim, podemos comparar nossa abordagem com os modelos existentes e avaliar a validade prática das diferentes abordagens.

O restante deste artigo está estruturado da seguinte forma. Em Sect. 2, apresentamos o exemplo de Kellogg e Charnes (2000) e descrevemos como tais investimentos sequenciais de P&D podem ser modelados como opções compostas, antes de finalmente apresentarmos nosso modelo binomial. Na Seita 3, aplicamos esta abordagem à valorização do NDA como apresentado em Kellogg e Charnes (2000). Finalmente, na Seita 4, discutimos a validade prática de nossa abordagem, apresentamos conclusões e traçamos caminhos para futuras pesquisas.

CONCLUSÃO

Neste artigo, propusemos uma abordagem para modelar opções de compostos sequenciais inerentes a projetos de P&D, aplicando técnicas de rede binomial. Argumentamos que nossa abordagem binomial para

modelar opções de compostos sequenciais aumenta a validade prática da abordagem de opções reais (1) reduzindo a complexidade matemática em comparação com modelos de preços de opções analíticas em tempo contínuo, (2) reduzindo significativamente o número de etapas computacionais para valorizar uma opção de composto z-fold de etapas z (como em abordagens binomiais anteriores) para apenas um passo, e (3) usando uma abordagem que espelha o processo iterativo de alocação de recursos multiestádicos de análise de investimento sequencial, potencialmente aumentando a consciência dos gestores sobre os direitos semelhantes a opções (Driouchi e Bennett 2011). Observe que (corretamente) a valorização das opções reais requer uma consciência dos direitos semelhantes a opções em primeiro lugar. Além disso, nossa abordagem muda o foco de uma única decisão inicial de investimento em P&D para exercer efetivamente as opções de investimento subsequentes (para continuar o projeto de P&D). Nesse contexto, apresentamos a alavancagem baseada no mercado como uma medida do compromisso da empresa com uma determinada série de investimentos em P&D. A medida de alavancagem ilustra os efeitos de redução de riscos de projetos de investimento sequenciais à gestão, mitigando assim os problemas de subinvestimento.

Há várias limitações à nossa abordagem sugerida. A maioria dessas limitações está intimamente relacionada com a abordagem de opções reais em geral e, portanto, não são específicas do modelo. Mais importante, enfatizamos que, no caso de P&D, não existe nenhum mercado (perfeito) para a negociação de um "ativo" tão único. Trata-se de uma limitação inerente à abordagem de opções reais que precisa ser considerada na aplicação da metodologia na prática corporativa. No entanto, a literatura prévia afirma que um ativo negociável altamente correlacionado pode servir como substituto ao formar uma carteira duplicada. Além disso, o uso de modelos binomiais de tempo discreto vem ao custo de impor uma distribuição simplificada do valor do ativo. Estimar os parâmetros que você e d é, portanto, desafiador, pois o valor da opção é altamente sensível à sua especificação. No entanto, o mesmo argumento se aplica à variância nos modelos (analíticos) de Preto e Scholes (1973) e Geske (1979). Também temos que admitir que não podemos, em última análise, prever a potencial aceitação de nossa abordagem na prática corporativa. No entanto, como demonstrado no estudo de Verbeeten (2006), ambientes altamente incertos aumentam a disposição das empresas em adotar práticas mais sofisticadas de orçamento de capital. Como a P&D está tipicamente associada a altos níveis de incerteza, achamos que implementar nossa abordagem é mais provável na gestão de P&D (veja também Hartmann e Hassan 2006). Observe também que, embora usemos o exemplo da avaliação do NDA, nosso modelo de opção composta proposto funciona em qualquer processo iterativo de alocação de recursos multiestádicos. Por exemplo, a valorização de empresas iniciantes cujo modelo de negócios se baseia principalmente em P&D (por exemplo, empresas de biotecnologia) compartilha muitos recursos com avaliação de P&D. Sugerimos, assim, que nossa abordagem também possa ser aplicada em pesquisas futuras para a valorização dessas empresas, cujo composto líder de P&D é responsável pelo driver de valor chave.