

Opciones reales en Hoja de Cálculo: Caso de un edificio de aparcamiento

Richard de Neufville, L.M. ASCE, Stefan Scholtes, y Tao Wang

Versión castellana con la ayuda de Laura Escudero

Resumen

En este artículo se muestra cómo al diseñar sistemas de infraestructura es posible evaluar de forma bastante sencilla la flexibilidad en sistemas de ingeniería. En concreto, mediante una hoja de cálculo, se presenta un enfoque para valorar las “opciones reales” en un proyecto. Este modelo evita el uso de procedimientos financieros complejos, los cuales resultan inapropiados para la mayoría de los problemas de diseño y generan barreras a la hora de llevar a cabo mejoras importantes en el desempeño, las cuales sí son posibles mediante el uso de las “opciones reales”. El método propuesto emplea procedimientos estándar de hojas de cálculo y se basa en datos que son fácilmente disponibles en la práctica, generando gráficas que explican los resultados de manera intuitiva. Por lo tanto, este método debería resultar de fácil aplicación para los profesionales responsables del diseño y la administración de sistemas de ingeniería. Un ejemplo práctico de diseño de un edificio de aparcamiento muestra la facilidad en el uso y en la presentación de los resultados que supone el empleo de este método.

Base de Datos CE Encabezados temáticos: Diseño, flexibilidad, análisis de la incertidumbre, opciones reales, ampliación de instalaciones, hojas de cálculo, evaluación de proyectos, instalaciones de aparcamiento.--

Valoración de opciones reales mediante hoja de cálculo: Caso de edificio de aparcamiento

Richard de Neufville,¹ L.M. ASCE, Stefan Scholtes,² y Tao Wang³

La oportunidad

Desde hace tiempo, los diseñadores de sistemas de infraestructura saben que gran parte de sus pronósticos “siempre” están errados. Las fuerzas del mercado y la volatilidad de los deseos del público generan cargas para los servicios de infraestructura que, con frecuencia, difieren mucho de las que se anticipan en los planes originales. Dichas demandas pueden ser superiores o inferiores a las proyectadas. Las autopistas que se desbordan de tráfico desde el mismo día en que inician su operación forman parte de nuestra experiencia, al igual que las instalaciones (Canal Inglés o Bahía de Tokio) que se hallan subutilizadas. Entre los muchos documentos que describen esta realidad se encuentran los de “Flyvbjerg et al” (2003) y de “de Neufville y Odón” (2003).

Igualmente, los diseñadores saben que a menudo resulta benéfico escalonar el desarrollo de la infraestructura, para ponerla en servicio cuándo y dónde se necesite. Este enfoque evita el desarrollo de instalaciones innecesarias. Igualmente, retrasa los gastos hasta el momento en el que se requieren, lo cual puede reducir considerablemente el valor actual neto (VAN) del coste del sistema. Es más, al conseguir aplazar la implementación de etapas posteriores hasta el momento en que realmente son requeridas, posibilitamos la incorporación de las últimas tecnologías al diseño de la infraestructura y conseguimos ajustarnos con mayor precisión a las necesidades reales. Por ejemplo, dado que el diseño original del puente sobre la desembocadura del río Tajo era lo suficientemente flexible como para acomodar el tráfico férreo,

¹ Profesor de Ingeniería Civil y Ambiental y de Ingeniería de Sistemas, MIT, Cambridge, MA, 02139, U.S.A. (Autor correspondiente) Email: ardent@mit.edu

² Profesor de “Management Science”, Judge Institute of Management, Cambridge University, Cambridge CB2 1AG, U.K. Email: s.scholtes@jims.cam.ac.uk

³ Doctorando, Engineering Systems Division, MIT, Cambridge, MA, 02139, U.S.A. Email: tao@mit.edu

posteriormente fue posible establecer conexiones eficientes con el sistema de tren urbano, diseñado e implementado muchos años después. (Gesner y Jardim, 1998).

El poder hacer lo correcto en el momento correcto puede llevar a mejoras espectaculares en el valor esperado del valor actual neto (VAN) de los más importantes sistemas de infraestructura. De hecho, “de Weck et al” (2004) demostraron que es posible lograr mejoras del orden del 30%, mediante el adecuado escalonamiento en la implementación de satélites de comunicaciones. Éste es el tipo de oportunidades que brinda el diseño e implementación de sistemas de infraestructura flexibles.

Los Problemas

El diseño e implementación de sistemas de infraestructura desarrollados e implementados de acuerdo con las necesidades plantea dos problemas. El primero es que la flexibilidad tiene un coste asociado (decimos que “la flexibilidad cuesta”); el segundo es que los diseñadores aún no disponen de medios aceptables para valorar y justificar dicho gasto. El coste de la flexibilidad es obvio; para darle al puente del Tajo la capacidad de soportar un segundo nivel para trenes, en el supuesto caso de que en un futuro así se deseara, inicialmente el gobierno portugués se vio obligado a correr con gastos considerablemente mayores en acero, construcción, acceso, etc. ¿Cómo pueden los diseñadores justificar analíticamente estos costes?

La justificación de la flexibilidad de un diseño radica en tipos de “análisis de opciones reales”. Una “opción real” personifica la flexibilidad en el desarrollo de un proyecto. Representa un “derecho, pero no una obligación” para tomar un curso de acción – como por ejemplo, la construcción de líneas de tren sobre el puente del Tajo – cosa que puede ser aconsejable tanto si hay un giro desafortunado en los eventos, como si se presentan nuevas oportunidades. Por tanto, la “opción real” representa bien sea una forma de seguro o un medio para tomar ventaja de una situación favorable. El “análisis de opciones reales” es el conjunto de técnicas para

valorar la flexibilidad en la implementación de sistemas técnicos tales como los sistemas de infraestructura.

El concepto de “opciones reales” se originó en el campo de las finanzas (Myers, 1984). Los modelos financieros de esta teoría suponen que las opciones se refieren a activos (tales como acciones) negociados en un mercado. Desde comienzos de 1990s, numerosos autores han ampliado este análisis basado en opciones financieras a sistemas de ingeniería (ver por ejemplo Dixit y Pindyck, 1994; Trigeorgis, 1996; Amran y Kulatilaka, 1999; Copeland y Antikarov, 2001).

Últimamente, varios teóricos han propuesto la aplicación del análisis de “opciones reales” al diseño de sistemas de infraestructura. Leviakangas y Lahesmaa (2002) discuten su aplicación a vías con peaje; y Ford et al. (2002) a la planeación estratégica. Ho y Liu (2003) presentan un método para evaluar inversiones en tecnología de construcción; Zhao y Zheng (2003) aportan un enfoque alternativo aplicable a edificios de aparcamiento; Zhao, Sundararajan, y Tseng (2004) extienden este trabajo al desarrollo de autopistas.

Sin embargo, en la práctica de la ingeniería, el análisis de “opciones reales” no se ha usado con mucha frecuencia. Probablemente, esto se debe a que las metodologías basadas en finanzas no son aceptables en la práctica. De hecho, estos procedimientos requieren una comprensión sustancial de la teoría financiera y de técnicas matemáticas avanzadas (tales como la rejilla trinomial y la programación dinámica estocástica, Wang y de Neufville, 2004). Además, dichas técnicas requieren información estadística como la volatilidad del activo, la cual, si bien tiene sentido en los mercados financieros, no tiene un símil obvio en la práctica de la ingeniería. Por tanto, incluso en el caso de que los profesionales sepan usar determinadas técnicas financieras para evaluar opciones, los resultados derivados se basan en supuestos difícilmente explicables. Así pues, las técnicas basadas en teoría financiera hacen difícil valorar la flexibilidad y justificarla ante los jefes ingenieros y los administradores, quienes son los responsables de aprobar la configuración y el diseño de los sistemas de infraestructura en última instancia,.

Sin embargo, los análisis simples en hojas de cálculo – que en realidad se hallan al alcance de los diseñadores – permiten estimar el valor de las opciones reales en los sistemas de ingeniería. En comparación con los procedimientos procedentes de la matemática financiera, esta metodología presenta tres ventajas:

1. Emplea procedimientos estándares de hoja de cálculo, ya disponibles;
2. Se basa en datos disponibles en la práctica; y
3. Suministra gráficos que explican intuitivamente los resultados.

El caso de estudio del diseño de un edificio de aparcamiento de varias plantas ilustra estos puntos.

Análisis con Hoja de Cálculo

Esta valoración de la flexibilidad se basa en el análisis estándar de flujo de caja descontado (FCD) usado para evaluar proyectos (ver Riggs y West, 1986; de Neufville, 1990; White et al, 1998; DeGarmo et al, 2000). El proceso descuenta ingresos y gastos futuros con la finalidad de colocarlos en una base comparable, típicamente el presente. La suma de estos flujos de caja descontados es el Valor Actual Neto (VAN). Para valorar proyectos, tanto los ingenieros como los administradores usan regularmente hojas de cálculo computarizadas, como Excel®.

El proceso de estimar el valor de opciones reales mediante hoja de cálculo es simple y fácil de ejecutar. Una vez ubicados los datos básicos en la hoja de cálculo, es posible realizar los cálculos en cuestión de minutos. En http://ardent.mit.edu/real_options se ha publicado un modelo simple que le permite al lector explorar dicha metodología. Aplicaciones comerciales como Crystal Ball ® y @Risk ® también pueden ser empleadas.

El análisis de opciones reales con hoja de cálculo implica tres pasos:

1. Configurar la hoja de cálculo de modo que represente las proyecciones más factibles de costes e ingresos futuros del proyecto. El resultado es una valoración económica

- estándar de un proyecto de ingeniería. El diseño que maximiza el VAN es el caso base con el que se compararán las soluciones flexibles, de tal forma que sea posible derivar el valor de esos diseños alternativos.
2. Presentar las implicaciones de la incertidumbre simulando el rango de escenarios posibles. Cada escenario conduce a un VAN diferente, y el conjunto de escenarios provee tanto un “Valor Actual Neto Esperado” (VANE) como una distribución de los posibles resultados del proyecto. Estos valores se muestran gráficamente convenientemente como funciones de distribución de probabilidad que documentan el Valor en Riesgo (VeR), es decir, la probabilidad con la cual pueden ocurrir los peores casos. Esta documentación motiva la búsqueda de la flexibilidad, esto es, de las opciones reales que permitirán evitar éstas pérdidas a los administradores de la infraestructura.
 3. Explorar los efectos de varias alternativas para proveer flexibilidad, variando los costes y los ingresos para reflejar estas alternativas de diseño. La comparación del valor actual neto esperado con el obtenido en el caso base (VANE contra VAN) define el valor de la flexibilidad. Más aún, la representación gráfica de la mejora en las curvas del Valor en Riesgo (VeR) provee una explicación intuitiva de la manera en la que la flexibilidad permite a los operadores del sistema evitar las pérdidas, así como tomar ventaja de las oportunidades. Esta información puede ser un factor clave en las decisiones sobre el diseño de grandes proyectos.

Por lo tanto, la metodología de hoja de cálculo para el análisis de opciones reales permite soluciones que los encargados de tomar decisiones pueden observar y aceptar. Ésta se construye sobre herramientas familiares, usa información que ellos proveen y demuestra gráficamente las fuentes de valor. Un simple caso de un desarrollo real ilustra estos puntos.

Caso de estudio

El Caso: A modo de ejemplo práctico, se aplica la metodología de hoja de cálculo al diseño de un edificio de aparcamiento, inspirado y extrapolado del proyecto “Bluewater” en Inglaterra (<http://www.bluewater.co.uk/>). Este ejemplo muestra la facilidad en el manejo y la transparencia de esta metodología, especialmente si se compara con métodos financieros empleados para analizar este mismo caso (ver Zhao y Tseng, 2003).

Este caso se basa en el proyecto de un edificio de aparcamiento de varias plantas situado al lado de un nuevo centro comercial, en una región que se encuentra en pleno crecimiento debido al crecimiento poblacional. Partimos de la siguiente información básica:

- El pronóstico determinista puntual es que la demanda el día de la apertura será de 750 plazas y crecerá exponencialmente en 750 plazas más en el curso de los próximos 10 años;
- El ingreso promedio anual por plaza usada será de \$10,000 dólares y el coste operativo promedio (personal, limpieza, etc.) será de \$2,000 dólares por año por cada plaza disponible (nótese que el número de plazas usadas es con frecuencia menor que el número de plazas disponibles);
- El alquiler del terreno costará \$3.6 Millones de dólares anualmente;
- El coste de la construcción será de \$16,000 dólares por plaza construida en etapa pre-operativa, con un incremento del 10% para cada nivel construido por encima del nivel del suelo;
- El lugar es suficientemente grande para permitir el aparcamiento de 200 vehículos por nivel; y
- La tasa de descuento es establecida al 12% anual.

Adicionalmente, el análisis económico debe reconocer que la demanda real es incierta, dado el largo plazo del proyecto. El caso asume que la demanda futura adicional puede estar hasta un

50% alejada de la proyección, por encima o por debajo, y el crecimiento anual tiene una volatilidad del 10% con respecto al promedio de largo plazo.

Flexibilidad: Los diseñadores pueden diseñar los cimientos y las columnas del edificio original de tal manera que plantas adicionales de aparcamiento puedan ser añadidas fácilmente, como realmente fue el caso en Bluewater. El caso asume que hacer esto añadirá 5% al costo inicial de la construcción. El valor es el precio de considerar la opción real de ampliar en un futuro el edificio, esto es, de tener el derecho pero no la obligación de hacerlo.

Paso 1: La Tabla 1 representa la hoja de cálculo básica empleada para calcular el VAN del edificio de aparcamiento, asumiendo que la demanda de plazas crece como inicialmente se había proyectado. Esta versión en particular establece 6 plantas que equivalen a 1200 plazas. Nótese que cuando la demanda crece por encima de la capacidad del edificio, el proyecto no puede beneficiarse de la demanda adicional.

El diseñador puede usar la hoja de cálculo para calcular el VAN para cualquier cantidad de plantas en el aparcamiento (Figura 1) y de esta manera determinar el tamaño que maximiza el VAN. (Esto se hace tradicionalmente usando la función Tabla de Datos de Excel). Como se puede observar, el diseño óptimo para este caso base, que de manera irreal asume que la demanda se conoce anticipadamente, consiste en construir 6 pisos. El VAN aparente en este caso es de \$6.24 millones de dólares. Sin embargo dicha estimación es errónea dado que la demanda actual diferirá de la proyección determinista, de tal manera que el VANE de este diseño será diferente, tal como se documenta en el paso 2.

Paso 2: Se reconoce la incertidumbre en el pronóstico de la demanda simulando varios escenarios. En este ejemplo de análisis se corrieron 2000 escenarios, lo cual tardó cerca de 1 minuto en un ordenador personal estándar. Cada escenario determina un VAN diferente. El conjunto de escenarios representa la función de distribución de probabilidad del VAN. Como lo

indica la Figura 1, el VAN esperado para el diseño determinista es menor que el estimado en el análisis determinista. Es tan solo de \$2.87 Millones. De hecho, el diseño más pequeño de 5 plantas provee un VAN esperado mayor (\$ 2.94 millones) dado que reduce la posibilidad de grandes pérdidas derivadas de una construcción de capacidad ociosa.

La consideración de la incertidumbre en este análisis provee una información muy útil que constituye, per se, un motivo determinante para que los diseñadores y las personas encargadas de tomar las decisiones opten por el uso de la flexibilidad. El análisis muestra que:

- La incertidumbre puede llevar a resultados asimétricos. En este caso, aunque se supone que la posibilidad de demandas altas y bajas es equiprobable, el potencial de ganancia del proyecto es limitado (debido a que por la capacidad fija no es posible beneficiarse de demandas superiores) mientras que los riesgos de pérdida son sustanciales y en efecto, pueden derivar en grandes pérdidas.
- Ilustra el “defecto de los promedios” o desigualdad de Jensen (Savage, 2000), esto es, tal y como lo indica la Figura 1, que el valor esperado de un proyecto P calculado sobre todos los escenarios en general no es igual al valor del proyecto en un escenario promedio:

$$EV P(S) \neq P [EV(S)]$$

- La función de distribución de probabilidad muestra el Valor en Riesgo (VeR). Muestra la probabilidad que el VAN pueda ser inferior o igual a un valor límite dado; $F(x) = p(\text{VAN} \leq x)$. Por tanto, la Figura 2 muestra que tenemos alrededor de un 10% de probabilidad de que las pérdidas de un edificio de aparcamiento de 5 plantas superen los \$4 millones.

Paso 3: En esta fase el diseñador explora diversas maneras para limitar el riesgo de pérdida y tomar ventaja del potencial de ganancia. Gráficamente, la curva del VeR se desplaza a la derecha, reduciendo la porción inferior de la curva que representa las pérdidas, y empujando la porción superior hacia las ganancias.

Por ejemplo, los diseñadores pueden reducir las pérdidas creando diseños más pequeños que pueden reducir la posibilidad de que la demanda no llegue a sobrepasar la capacidad instalada. En este caso, el diseño más pequeño elimina la posibilidad de pérdidas realmente grandes, pero con el coste de no poder hacer nunca una utilidad sustancial. Por esto, como ocurre con frecuencia, el simple hecho de suministrar un buen seguro contra las pérdidas no es suficiente para hacer que un proyecto resulte atractivo.

Al contrario, los diseñadores pueden aprovechar un eventual crecimiento incluyendo flexibilidad de ampliación en su diseño. Tal como ocurrió en la estructura del edificio de aparcamiento en Bluewater, este caso considera la posibilidad de hacer las columnas lo suficientemente grandes como para soportar plantas adicionales, en caso de que la demanda justifique la ampliación del edificio de aparcamiento años más tarde. La Tabla 2 muestra la hoja de cálculo diseñada para explorar ésta opción de ampliación, señalando las modificaciones apropiadas en letra negrilla. Esta hoja de cálculo incorpora filas adicionales para “Capacidad Adicional”, y “Coste de ampliación”. En esta hoja de cálculo, se toma la decisión de construir más adelante 2 pisos adicionales con un total de 400 plazas, durante dos años posteriores consecutivos en los cuales la capacidad está por debajo de la demanda. No obstante, criterios diferentes pueden ser programados.

La Figura 3 muestra el VeR conjunto de construir “en pequeño” contemplando la la opción de ampliar a posteriori en caso de que la demanda sea favorable. El diseño inicial de solamente 4 plantas reduce la pérdida máxima (de \$18.02 millones a \$13.14 millones). La posibilidad de añadir capacidad a la instalación incrementa de manera importante tanto el valor máximo del proyecto (hasta casi \$30 millones) como su valor esperado. El valor estimado de las opciones incluidas en el diseño flexible equivale a la diferencia entre el valor esperado del proyecto con la opción (\$5.12 millones) y el valor esperado para el caso base definido de manera determinista estándar (\$ 2.87 millones); esto es, \$2.25 Millones en este caso.

Más allá del valor esperado de la opción, la flexibilidad obtenida al construir inicialmente el diseño pequeño junto con la opción de ampliar tiene varias ventajas. El método de hoja de cálculo para analizar el valor de las opciones genera los datos que muestran dichas ventajas, al contrario que las aproximaciones financieras que se centran en el cálculo del valor de la opción. La Tabla 4 presenta esta información y suministra un análisis multifacético y una justificación para el diseño flexible. En este caso el análisis demuestra que el diseño flexible de un edificio de aparcamiento de varias plantas:

- Reduce la máxima pérdida posible, es decir, el Valor en Riesgo;
- Incrementa el máximo posible y la ganancia esperada;
- Mientras mantiene la inversión inicial baja.

Conclusión

El caso de estudio nos muestra la viabilidad de un modelo de hoja de cálculo para la valoración de opciones reales, el cual es fácil de usar y nos permite obtener información sobre la manera en la que un diseño flexible por un lado minimiza la exposición al riesgo mientras que, por el otro, maximiza el potencial de ganancia en circunstancias favorables. Comparado con métodos alternativos que requieren de matemáticas avanzadas y conceptos financieros, centrados en el valor esperado de una opción ignorando la manera en que las opciones cambian la distribución de los resultados, la metodología de hoja de cálculo resulta ser más sencilla de usar y más útil. Debido a que el modelo de hoja de cálculo para la valoración de opciones reales se basa en datos y herramientas disponibles, los ingenieros y gerentes deben encontrar este método asequible y aplicable.

Agradecimientos

Los autores agradecen la cooperación del personal directivo de Laing O'Rourke (UK), el cual trabajó con los autores principales del presente documento en la aplicación del modelo de hoja de cálculo y en su validación a través de ejemplos prácticos durante el seminario en opciones reales celebrado en el Instituto Cambridge-MIT en mayo de 2004. También agradecen a los examinadores y al editor por su consejo sobre la presentación.

Referencias

- Amran, M. and Kulatilaka, N. (1999) *Real Options - Managing Strategic Investment in an Uncertain World*, Harvard Business School Press, Boston, MA.
- Copeland, T. and Antikarov, V. (2001) *Real Options - A Practitioner's Guide*, TEXERE, New York, NY.
- DeGarmo, E. et al (2000) *Engineering Economy*, 11th Ed., Prentice-Hall, Upper Saddle River, NJ.
- de Neufville, R. (1982) "Airport Passenger Parking Design," *J. Urban Transportation*, 108, May, pp. 302 – 306.
- de Weck, O., de Neufville, R. and Chaize, M. (2004) "Staged Deployment of Communications Satellite Constellations in Low Earth Orbit." *J Aerospace Computing, Information, and Communication*, 1(4) Mar., pp. 119-136.
- de Neufville, R. and Odoni., A. (2003) *Airport Systems Planning, Design, and Management*, McGraw-Hill, New York, NY
- Dixit, A. and Pindyck, R. (1994) *Investment under Uncertainty*, Princeton University Press, Princeton, NJ.
- Flyvbjerg, B., Bruzelius, N, and Rothengatter, W. (2003) *Megaprojects and Risk: an anatomy of ambition*, Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Ford, D., Lander, D. and Voyer, J. (2002) "A Real Options Approach to Valuing Strategic Flexibility in Uncertain Construction Projects," *Construction Management and Economics*, 20, pp. 343 – 351.
- Gesner, G. and Jardim, J. (1998) "Bridge within a Bridge," *Civil Engineering*, October, Available at <http://www.pubs.asce.org/ceonline/1098feat.html>
- Ho, S. and Liu, L. (2003) "How to Evaluate and Invest in Emerging A/E/C Technologies under Uncertainty," *J. of Construction Engineering and Management*, 129(1), pp. 16 – 24.
- Leviakangas, P. and Lahesmaa, J. (2002) "Profitability Evaluation of Intelligent Transport System Investments," *J. of Transportation Engineering*, 128(3), pp. 276 – 286.
- Myers, S. (1984) "Finance theory and financial strategy." *Interfaces*, 14, Jan-Feb, pp. 126-137.

Trigeorgis, L. (1996) *Real Options: Managerial Flexibility and Strategy in Resource Allocation*, MIT Press, Cambridge, MA.

Riggs, J. and West, T. (1986) *Engineering Economics*, McGraw-Hill, New York, NY.

Savage, S. (2000) "The Flaw of Averages," San Jose Mercury, Oct. 8,

<http://www.stanford.edu/dept/MSandE/faculty/savage/FOA%20Index.htm>

Wang, T. and de Neufville, R. (2004) "Building Real Options into Physical Systems with Stochastic Mixed-Integer Programming." Proc. 8th Real Options International Conf. (Montreal) Real Options Group, Nicosia, Cyprus: http://www.realoptions.org/papers2004/de_Neufville.pdf

White, J. et al (1998) *Principles of Engineering Economics Analysis*, John Wiley and Sons, New York, NY.

Zhao, T., Sundararajan, S., and Tseng, C. (2004) "Highway Development Decision-Making under Uncertainty: A Real Options Approach," *J. of Infrastructure Systems*, 10(1), pp. 23 – 32.

Zhao, T. and Tseng, C. (2003) "Valuing Flexibility in Infrastructure Expansion." *J. of Infrastructure Systems*, 9(3), pp. 89 – 97.

Tabla 1. Hoja de cálculo para un diseño con proyección determinista puntual de la demanda (Caso de un edificio de aparcamiento de 6 plantas)

Categoría	Tipo	Unidades	Año					
			0	1	2	3	...	20
Demanda		Espacios		750	893	1.015	...	1.696
Capacidad	Inicial			1.200	1.200	1.200		1.200
Ingresos		\$ Millones		7,50	8,93	10,15		12,00
Costes	Iniciales		22,74					
	Anuales		3,60	6,00	6,00	6,00		6,00
Flujo de Caja	Real		- 26,34	1,50	2,93	4,15		6,00
VAN			6,24					

Tabla 2 Hoja de cálculo para el diseño del edificio de aparcamiento, incluyendo diferentes escenarios de demanda y la opción de ampliación (Caso de un edificio de aparcamiento de 4 plantas)

Categoría	Tipo	Unidades	Año					
			0	1	2	3	...	20
Demanda		Plazas		1055	1141	1234	...	2002
Capacidad	Inicial			800	800	1200		2000
	Agregada				200	200		
Ingresos		\$ millions		8,00	8,00	10,00		15,98
Costes	Iniciales		14,48					
	Posteriores				4,26	4,68		
	Anuales		3,60	5,20	5,20	5,60		7,20
Flujo de Caja	Real		-18,08	- 2,80	-1,46	-0,28		878
VAN		7,57						

Tabla 3 Comparación de los tres pasos del análisis

Perspectiva	Paso del análisis	¿Se usó simulación?	¿Tiene opciones?	Plantas diseñadas	VANE \$, millones
Determinista	1	No	No	6	2,87
Reconoce incertidumbre	2	Si	No	5	2,94
Incorpora flexibilidad	3	Si	Si	4, con columnas fuertes	5,12

Tabla 4 Mejoras en el desempeño logradas a través del diseño flexible

Métrica \$, Millones	Diseño		Comparación
	No Flexible	Flexible	
Inversión inicial	22,74	14,48	Mejor con Flexibilidad
VAN esperado	2,87	5,12	Mejor con Flexibilidad
Mínimo VAN	- 24,68	- 12,62	Mejor con Flexibilidad
Maximo VAN	13,78	14,80	Mejor con Flexibilidad

Figuras

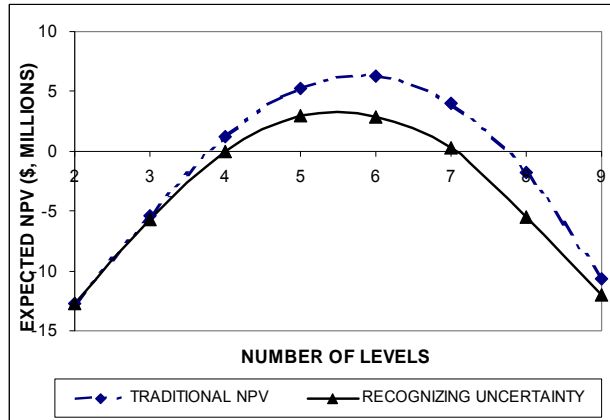


Figura 1: Valor Actual Neto Esperado para diseños con diferente numero de plantas

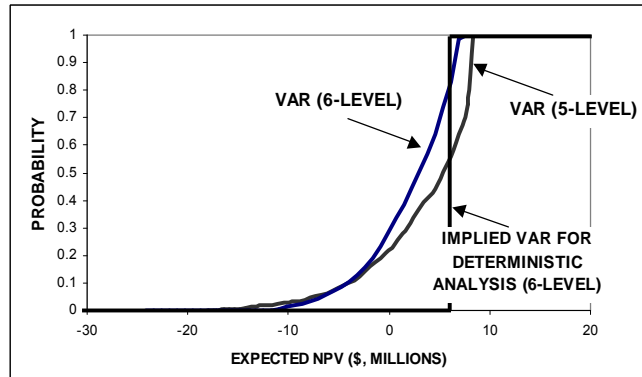


Figura 2: Valor en Riesgo para el diseño de 6 plantas reconociendo la incertidumbre en la demanda, comparado con el valor determinista

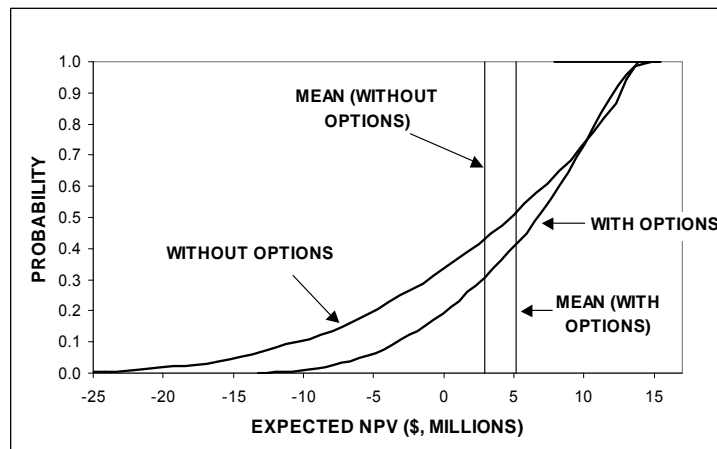


Figura 3: La opción de ampliar añade un valor significativo y mejora el perfil del Valor en Riesgo