

# Opciones reales en Hoja de Cálculo: Caso de un edificio de parqueo

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

## Resumen

En este artículo se muestra cómo al diseñar sistemas de infraestructura es posible evaluar en forma bastante sencilla la flexibilidad en sistemas de ingeniería. Específicamente, mediante hoja de cálculo, se presenta una aproximación para valorar “opciones reales” en un proyecto. El modelo evita procedimientos financieros complejos, inapropiados para la mayoría de los problemas de diseño y que constituyen barreras para lograr importantes mejoras en el desempeño posibles mediante la explotación de opciones reales. El método propuesto emplea procedimientos estándar de hojas de cálculo y se basa en datos fácilmente disponibles en la práctica, con gráficas que explican los resultados de manera intuitiva. Por lo tanto, éste 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 parqueo muestra la facilidad en el uso y presentación de los resultados que representa el empleo de este método.

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

# Valoración de opciones reales mediante hoja de cálculo: Caso de edificio de parqueo

Richard de Neufville,<sup>1</sup> L.M. ASCE, Stefan Scholtes,<sup>2</sup> y Tao Wang<sup>3</sup>

## La oportunidad

Desde hace tiempo, los diseñadores de sistemas de infraestructura han sabido que muchos 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 copan desde el día en que inician su operación hacen 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 encuentra el de Flyvbjerg et al (2003) y de Neufville y Odoni (2003).

Igualmente, los diseñadores saben que a menudo, resulta benéfico escalonar el desarrollo de la infraestructura, para ponerla en servicio cuando y donde se necesite. Esta aproximación evita el desarrollo de instalaciones innecesarias. Igualmente, difiere los gastos hasta el momento en que se requieren, lo cual puede reducir considerablemente el valor presente del costo del sistema. Más aún, cuando se aplaza la implementación de etapas posteriores hasta cuando se requiera se hace posible incorporar la última tecnología al diseño de la infraestructura y ajustarse con mayor precisión a las necesidades reales. Por ejemplo, como el diseño original del puente sobre la desembocadura del río Tajo era suficientemente flexible para acomodar el tráfico férreo, fue posible establecer conexiones eficientes con el sistema de tren urbano, diseñado e implementado muchos años después. (Gesner y Jardim, 1998).

---

<sup>1</sup> Profesor de Ingeniería Civil y Ambiental y de Sistemas de Ingeniería, MIT, Cambridge, MA, 02139, U.S.A. (Autor correspondiente) Email: [ardent@mit.edu](mailto:ardent@mit.edu)

<sup>2</sup> Profesor de “Management Science”, Judge Institute of Management, Cambridge University, Cambridge CB2 1AG, U.K. Email: [s.scholtes@jims.cam.ac.uk](mailto:s.scholtes@jims.cam.ac.uk)

<sup>3</sup> Candidato Doctoral, Engineering Systems Division, MIT, Cambridge, MA, 02139, U.S.A. Email: [tao@mit.edu](mailto:tao@mit.edu)

El poder hacer lo correcto en el momento correcto puede llevar a mejoras espectaculares en el valor esperado del valor presente 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. Este es el tipo de oportunidades que brinda el diseño e implementación de sistemas flexibles de infraestructura.

## **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 cuesta; el segundo es que los diseñadores aún no tienen medios aceptables para valorar y justificar dicho gasto. El costo 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 se deseara, inicialmente el gobierno portugués se vio obligado a gastos considerablemente mayores en acero, construcción, acceso, etc. ¿Cómo pueden los diseñadores justificar analíticamente estos costos?

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 o 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 parqueo; 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 de una sustancial comprensión de la teoría financiera y de técnicas matemáticas avanzadas (tales como Rejilla trinomial y programación dinámica estocástica, Wang y de Neufville, 2004). Más aún, tales técnicas requieren de información estadística como la volatilidad del activo la cual, si bien tiene sentido en los mercados financieros, no tiene un paralelo obvio en la práctica de la ingeniería. Por lo tanto, incluso si los profesionales saben 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 ingenieros jefes y los administradores quienes en última instancia, son los responsables de aprobar la configuración y el diseño de los sistemas de infraestructura.

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

1. Emplea procedimientos estándar 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 parqueo de varios niveles 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 a fin de colocarlos en una base comparable, típicamente el presente. La suma de estos flujos de caja descontados es el Valor Presente Neto (VPN). 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](http://ardent.mit.edu/real_options) se ha publicado un modelo simple que le permite al lector explorar la 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 costos e ingresos futuros del proyecto. El resultado es una valoración económica estándar de un proyecto de ingeniería. El diseño que maximiza el VPN 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 VPN diferente, y el conjunto de escenarios provee tanto un “Valor presente Neto Esperado” (VPNE) como una distribución de los

- posibles resultados del proyecto. Estos valores son graficados convenientemente como distribuciones cumulativas que documentan el Valor en Riesgo (VeR), es decir, la probabilidad con que peores casos puedan ocurrir. Esta documentación motiva la búsqueda de la flexibilidad, de las opciones reales que le permitirán a los administradores de la infraestructura evitar éstas pérdidas.
3. Explorar los efectos de varias alternativas para proveer flexibilidad, cambiando los costos y los ingresos para reflejar estas alternativas de diseño. La comparación del valor presente neto esperado con el obtenido en el caso base (VPNE contra VPN) define el valor de la flexibilidad. Más aún, la representación gráfica de la mejora en las curvas del Valor en Riesgo (VeR) proveen una explicación intuitiva de la manera en que la flexibilidad le permite a los operadores del sistema evitar las pérdidas y tomar ventaja de las oportunidades. Esta información puede ser un factor clave en 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. Esta 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 manera de ejemplo práctico, se aplica la metodología de hoja de cálculo al diseño de un edificio de parqueo, inspirado y extrapolado del proyecto “Bluewater” en Inglaterra (<http://www.bluewater.co.uk/>). Este ejemplo muestra la facilidad de manejo y la transparencia de la metodología, particularmente si se compara con métodos financieros empleados para analizar este mismo caso (ver Zhao y Tseng, 2003).

El caso se ocupa de edificio de parqueo de varios niveles situado al lado de un nuevo centro comercial, en una región que se encuentra en pleno crecimiento debido al crecimiento poblacional. La siguiente es la información básica:

- El pronóstico determinista puntual es que la demanda el día de la apertura será de 750 espacios, y crecerá exponencialmente en 750 espacios más en el curso de los próximos 10 años;
- El ingreso promedio anual por espacio usado será de \$10,000 dólares, y el costo operativo promedio (personal, limpieza, etc.) será de \$2,000 dólares por año por cada espacio disponible (nótese que el número de espacios usados es con frecuencia menor que el número de espacios disponibles);
- El arriendo de la tierra costará \$3.6 Millones de dólares anualmente;
- El costo de construcción será de \$16,000 dólares por espacio construido 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 parqueo 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, en cualquier sentido, 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 en el edificio original de tal manera que niveles adicionales de parqueo puedan ser añadidos 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 hacerse a la opción real de ampliar en un futuro el edificio, el derecho pero no la obligación de hacerlo.

**Paso 1:** La Tabla 1 representa la hoja de cálculo básica empleada para calcular el VPN del edificio de parqueo, asumiendo que la demanda de espacios crece como inicialmente se proyecta. Esta versión en particular establece 6 niveles que equivalen a 1200 espacios. Nótese que cuando la demanda crece por sobre la capacidad del edificio, el proyecto no se puede beneficiar de demanda adicional.

El diseñador puede usar la hoja de cálculo para calcular el VPN para cualquier cantidad de niveles en el parqueadero (Figura 1) y de esta manera determinar el tamaño que maximiza el VPN. (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 VPN aparente en este caso es de \$6.24 millones de dólares. Sin embargo dicha estimación es errada dado que la demanda actual diferirá de la proyección determinista, de tal manera que el VPNE de este diseño será diferente, tal como se documenta en el paso 2.

**Paso 2:** 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 computador personal estándar. Cada escenario determina un VPN diferente. El conjunto de escenarios representa la distribución de la probabilidad de ocurrencia del VPN. Como lo indica la Figura 1, el VPN 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 chico de 5 niveles provee un VPN esperado mayor (\$ 2.94 millones) dado que reduce la posibilidad de grandes pérdidas derivadas de la construcción de capacidad ociosa.

Este análisis que considera la incertidumbre provee información muy útil que debería motivar a los diseñadores y las personas a cargo de las decisiones a usar 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 igual, 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 pueden derivar en efecto en grandes pérdidas.
- Ilustra el “defecto de los promedios” o desigualdad de Jensen (Savage, 2000) esto es, 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 distribución cumulativa muestra el Valor en Riesgo (VeR). Muestra la probabilidad que el VPN pueda ser inferior o igual a un valor límite dado. Por lo tanto la Figura 2 muestra que hay alrededor de un 10% de probabilidad que las pérdidas de un edificio de parqueo de 5 niveles superen los \$4 millones.

**Paso 3:** En esta fase el diseñador explora 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 alcance a copar la capacidad instalada. En este caso, el diseño más pequeño elimina la posibilidad de pérdidas realmente grandes, pero al costo de nunca hacer 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.

Los diseñadores pueden aprovechar un eventual crecimiento incluyendo flexibilidad de ampliación en su diseño. Tal como ocurrió en la estructura del edificio de parqueo en Bluewater,

este caso considera la posibilidad de hacer las columnas lo suficientemente grandes para soportar niveles adicionales, en caso de que la demanda justifique la ampliación del edificio de parqueo en años posteriores. 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 “Costo de ampliación”. En esta hoja de cálculo, se toma la decisión de construir 2 pisos adicionales o 400 espacios luego de dos años 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 con la opción para ampliar en caso de que la demanda sea favorable. El diseño inicial de solamente 4 niveles reduce la pérdida máxima (de \$18.02 millones a \$13.14 millones). La posibilidad de añadir capacidad instalada incrementa de manera importante tanto el máximo valor del proyecto (hasta casi \$30 millones) y 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 pequeño inicialmente 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, mientras que las aproximaciones financieras que se centran en el cálculo del valor de la opción no. La Tabla 4 presenta esta información y suministra un análisis multifacético y una justificación para el diseño flexible. En este caso el análisis documenta que el diseño flexible de un edificio de parqueo de varios niveles:

- 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.

## Conclusion

El caso de estudio muestra que un modelo de hoja de cálculo para la valoración de opciones reales es fácil de usar y provee información sobre la manera en la cual un diseño flexible minimiza la exposición al riesgo mientras maximiza el potencial de ganancia en circunstancias favorables. Comparado con métodos alternativos que requieren de matemáticas avanzadas y conceptos financieros, y que se centran 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 es 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 su validación a través de ejemplos prácticos, durante el seminario en opciones reales del Instituto Cambridge-MIT celebrado 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*, 11<sup>th</sup> 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. 8<sup>th</sup> Real Options International Conf. (Montreal) Real Options Group, Nicosia, Cyprus: [http://www.realoptions.org/papers2004/de\\_Neufville.pdf](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 el diseño con proyección determinista puntual de la demanda**

**(Caso de edificio de parqueo de 6 niveles)**

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
Costos	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
VPN			<b>6.24</b>					

**Tabla 2 Hoja de cálculo para el diseño del edificio de parqueo incluyendo diferentes escenarios de demanda y la opción de ampliación (Caso de edificio de parqueo de 4 niveles)**

Categoría	Tipo	Unidades	Año					
			0	1	2	3	...	20
Demanda		Espacios		1055	1141	1234	...	2002
Capacidad	Inicial			800	800	<b>1,200</b>		<b>2,000</b>
	Agregada				<b>200</b>	<b>200</b>		
Ingresos		\$ millions		8.00	8.00	10.00		15.98
Costos	Iniciales		14.48					
	Posteriores				<b>4.26</b>	<b>4.68</b>		
	Anuales		3.60	5.20	5.20	<b>5.60</b>		<b>7.20</b>
Flujo de Caja	Real		-18.08	-2.80	-1.46	-0.28		8.78
VPN		<b>7.57</b>						

**Tabla 3 Comparación de los tres pasos del análisis**

Perspectiva	Paso del análisis	Se usó Simulación?	Tiene opciones?	Niveles diseñados	VPNE \$, 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 al desempeño logradas a través del diseño flexible**

Métrica \$, Millones	Diseño		Comparación
	No Flexible	Flexible	
Inversión inicial	22.74	14.48	Mejor con Flexibilidad
VPN esperado	2.87	5.12	Mejor con Flexibilidad
Mínimo VPN	- 24.68	- 12.62	Mejor con Flexibilidad
Maximo VPN	13.78	14.80	Mejor con Flexibilidad

### Figuras

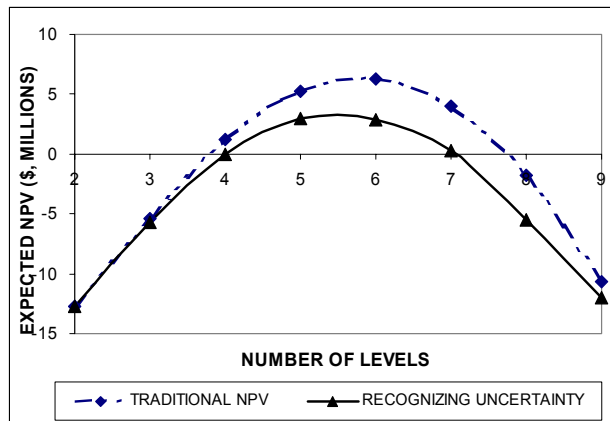


Figura 1: Valor Presente Neto Esperado para diseños con diferente numero de niveles

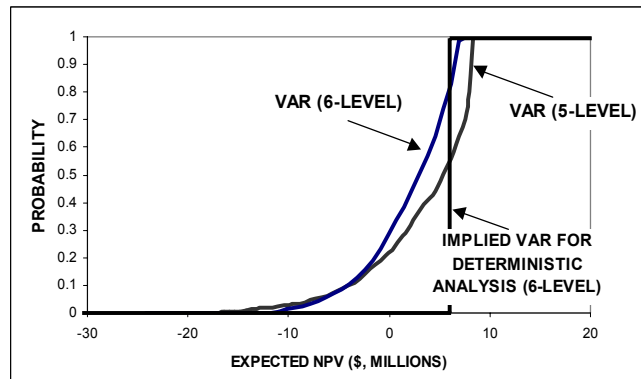


Figura 2: Valor en Riesgo para el diseño de 6 niveles reconociendo la incertidumbre en la demanda, comparado con el valor determinista

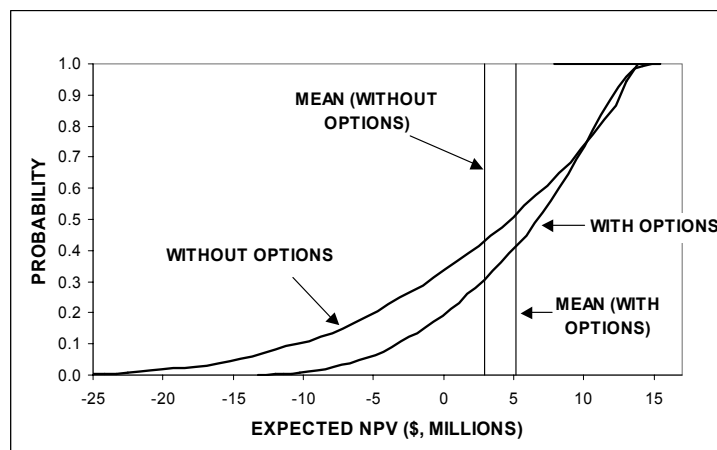


Figura 3: La opción de ampliar añade valor significativo y mejora el perfil del Valor en Riesgo