

# EVALUACIÓN SOCIOECONÓMICA DE PROYECTOS CON EL MÉTODO DE OPCIONES REALES <sup>1</sup>

## SOCIAL ECONOMIC EVALUATION OF PROJECTS WITH THE REAL OPTIONS METHOD

*MARTIN GUAJARDO THOMAS* <sup>2</sup>  
*ROSA AGUILERA VIDAL* <sup>3</sup>  
*ALEJANDRO ANDALAFT CHACUR* <sup>4</sup>

Universidad de Concepción, Concepción, Chile.

### RESUMEN

Este trabajo de investigación analiza la aplicación de la teoría de Opciones Reales en la evaluación socioeconómica de proyectos de inversión pública en Chile, de manera de poder determinar sus condiciones de aplicación y limitaciones.

Las técnicas tradicionales para evaluar alternativas de inversión, debido a su carácter estático, no capturan apropiadamente la incertidumbre inherente al proyecto, así como tampoco toman en consideración la capacidad que tiene un proyecto para adaptarse a escenarios futuros, es decir, su flexibilidad operativa. Para corregir estas falencias surge una metodología complementaria llamada Opciones Reales, la cual es una analogía a las opciones financieras que permite reflejar numéricamente el valor de la flexibilidad de un proyecto bajo condiciones de incertidumbre; de esta manera, el método de opciones reales logra fundir la teoría financiera y la gestión estratégica de un proyecto, permitiendo mejores aproximaciones con respecto al valor real del proyecto.

La aplicación del método de opciones reales en alternativas de inversión privada ha sido tema de numerosos trabajos e investigaciones, teniéndose un amplio conocimiento en relación a sus limitaciones y consideraciones; sin embargo, no existe claridad en cuanto a su aplicación en alternativas de inversión del sector público.

Para llevar adelante esta investigación se desarrollaron, en una primera etapa, los conceptos básicos de la teoría de opciones reales y la evaluación socioeconómica de proyectos; posteriormente se presentan cuatro casos reales de estudio, previamente evaluados con el método tradicional del VAN, para posteriormente evaluarlos con el método de opciones reales según el método binomial con transformada logarítmica.

Al comparar los resultados obtenidos con el método de opciones reales y los métodos tradicionales, se pudo comprobar que para todos los casos de estudio el valor arrojado por el método de opciones reales fue superior entre un 25 y un 500%, dependiendo del proyecto en estudio, al calculado a través de los métodos tradicionales. Por ello, se pudo concluir que el enfoque de opciones reales resulta una alternativa viable y útil para las instituciones públicas que buscan en Chile una adecuada valoración de sus proyectos de inversión.

**Palabras Claves:** Opciones Reales, Evaluación socioeconómica de proyectos, Flexibilidad.

<sup>1</sup> El presente trabajo ha sido presentado a la Escuela de Graduados de la Universidad de Concepción, en el Programa de Magíster en Ingeniería Industrial.

<sup>2</sup> Alumno del programa de Magíster en Ingeniería Industrial, Facultad de Ingeniería, Universidad de Concepción, Chile

<sup>3</sup> Profesor del Departamento de Ingeniería Industrial, Facultad de Ingeniería, Universidad de Concepción, Chile

<sup>4</sup> Profesor de la Facultad de Economía, Universidad de Concepción, Chile

## ABSTRACT

This article analyzes the application of the Real Options Theory in the assessment of social projects in Chile to determine their application and limitation conditions.

The traditional techniques to assess investment alternatives, due to its static character, does not appropriately capture the uncertainty inherent in the project, as well as they does not take into account either the capacity of a project to addapt to future scenes, that is to say, its operative flexibility. To correct those faults, appears a complementary methodology called Real Options, which is an analogy to the financial options that allow to reflect in numbers the flexibility value of a project under uncertainty conditions; this way, the real options method gets to join the financial theory and the strategic management of a project avoiding committing inaccuracies regarding the real value of the project.

The application of the real options method in private investment alternatives has been the subject of numbers of works and investigations, having a big knowledge related to its limitations and considerations; however, there does not exist clarity about its application in investment alternatives of the public sector.

To carry out the analysis, it was developed in a first stage the basic concepts of the real options theory and social economic projects assessment, after that four real cases of study were presented, which were subjected to assessment with the traditional method of current Net Value and then with the real options method.

On comparing the results with the real options method and the traditional ones, for all the cases, the value shown by the real options method was higher between 25 and 500%, depending of the case of study, to the traditional ones. For that reason, the approach of real options results to be a viable alternative and useful for the governmental entities in Chile that look for an optimum valuation of their projects of social investment.

**Key words:** Real Options Theory, social economic projects assessment, Flexibility, Strategic management.

## INTRODUCCION

Actualmente, el desarrollo de gran parte de los proyectos de inversión está en función de niveles de incertidumbre considerables, con condiciones cambiantes en los mercados, lo cual condiciona su carácter dinámico. Al evaluar estos proyectos, dos enfoques actúan en contraposición: la teoría financiera, que describe el comportamiento del proyecto en términos cuantitativos y la evaluación estratégica, que se enfoca en el desarrollo del proyecto de manera conceptual. Los métodos tradicionales de evaluación económica, como lo es el VAN, no permiten lograr un marco de trabajo que integre ambos enfoques, debido a su concepción estática y discontinua en el tiempo, pues una vez puesto en marcha el proyecto no permite modificar sus conceptos básicos: Los flujos de caja descontados asumen implícitamente que las empresas mantienen los activos reales de forma pasiva y no añaden valor a éstos al no tener respuesta a las circunstancias cambiantes, es decir, actuar de una manera si las condiciones son favorables o actuar a la inversa si son desfavorables.

A raíz de lo anterior, durante los últimos años ha surgido un renovado interés por el estudio de técnicas de valoración y selección de alternativas de inversión que contribuyan a lograr una valoración de los proyectos de inversión más apegada a la realidad actual; es decir, que relacione directamente la planeación estratégica con las finanzas corporativas, considerando a la inversión como un proceso continuo de identificación, selección e implementación de oportunidades. Al desarrollo de este planteamiento “estratégico” de la inversión contribuye el método de opciones reales.

La teoría de opciones reales incorpora la teoría de opciones financieras para valorar activos reales (proyectos de inversión), permitiendo valorar la flexibilidad operativa de un proyecto ante posibles cambios en escenarios futuros; es decir, asume el carácter dinámico y continuo a través del ciclo de vida del proyecto. La flexibilidad operativa está determinada por las opciones reales que presenta un proyecto durante su desarrollo. Estas opciones son acciones que pueden ser tomadas al resolverse en el futuro incertidumbres que se presentan en la actualidad. Las opciones son modeladas y valoradas por el método de opciones reales, lo cual finalmente agrega valor al proyecto.

De esta forma, la técnica de opciones reales muestra que el valor de un proyecto de inversión no radica únicamente en los flujos de caja directamente atribuidos al proyecto, sino también de las oportunidades con que cuenta para responder ante la incertidumbre.

La metodología de opciones reales funciona adecuadamente en alternativas de inversión en el sector privado, donde se establece una relación de beneficio – costo y se aceptan proyectos que arrojen utilidades. Sin embargo, no existe evidencia de aplicación de tal herramienta en el sector público, donde las inversiones se justifican por beneficio social marginal y/o liberación de recursos y no por ingresos o utilidades esperadas.

Indicado lo anterior, la hipótesis para este trabajo de investigación puede quedar planteada de la siguiente manera:

Para el caso de proyectos de inversión pública en Chile, la evaluación de proyectos mediante la teoría de opciones reales permite incorporar numéricamente el valor de la flexibilidad operativa y estratégica, mejorando el proceso de toma de decisiones al complementar los métodos tradicionales de evaluación socioeconómica existentes.

## MARCO CONCEPTUAL Y METODOLOGIA

### Teoría de Opciones Reales

Los métodos tradicionales de evaluación de proyectos de flujo de caja descontado (VAN) no reflejan el pensamiento estratégico, pues no muestran un comportamiento adecuado ante las condiciones de incertidumbre y riesgo, características fundamentales de los mercados actuales. Así, se presenta el problema de poder justificar numéricamente la inversión en proyectos con altas condiciones de volatilidad e incertidumbre, presentándose al momento de la evaluación dos enfoques formalmente incompatibles en los métodos de flujos de caja descontados VAN: el que se enfoca en lo que el proyecto puede llegar a ser cualitativamente y en términos estratégicos, y la teoría financiera, que se enfoca en lo que el proyecto puede llegar a lograr cuantitativamente; de esta manera, el método de flujo de caja sólo captura el segundo enfoque cuantitativo, dejando a un lado el cualitativo. Por lo tanto, en las actuales condiciones de incertidumbre de los mercados, la decisión de cuáles proyectos elegir para invertir, se ha tornado bastante complicada. Esta complejidad radica en el hecho de decidir por proyectos altamente riesgosos, de incierta rentabilidad, pero alto valor estratégico; o invertir en proyectos menos riesgosos, pero de baja rentabilidad. (Kester, 1984).

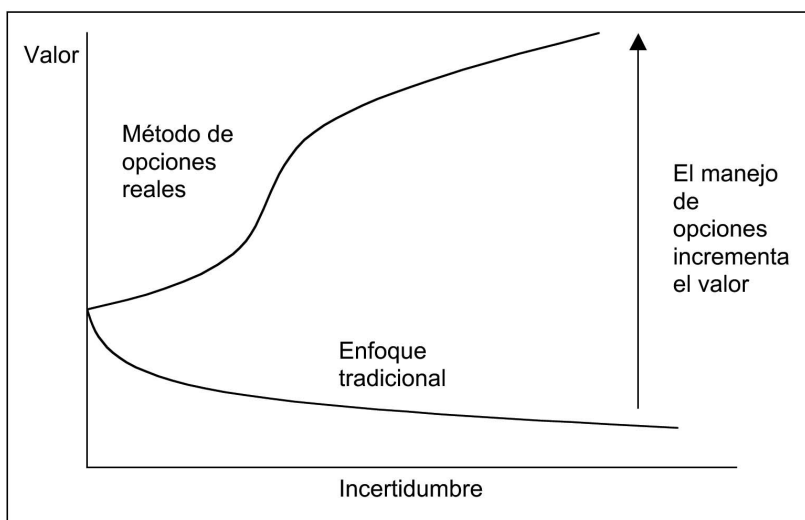
En respuesta a estas deficiencias de los métodos tradicionales nace la teoría de opciones reales.

Amram y Kulatilaka (2000) definieron el método de opciones reales como “la extensión de la teoría de las opciones financieras a las opciones sobre activos reales (no financieros). Una opción financiera otorga el derecho, pero no la obligación, de comprar o vender una cantidad determinada de un activo subyacente (una acción, una mercancía básica, divisa, instrumento financiero, entre otros.) a un precio preestablecido (el precio de ejercicio) dentro de un período determinado

Existen dos tipos de opciones financieras: opciones de compra (opciones “call”) y opciones de venta (opciones “put”). Cualquiera sea el caso, se puede identificar a dos participantes en la transacción de una opción, el comprador del contrato de opción, quien adquiere el derecho pero no la obligación de ejercer la opción en el plazo correspondiente, es decir, de comprar o vender al precio de ejercicio según sea una opción CALL o PUT, y el vendedor del contrato, quien sólo tiene obligaciones, ya que deberá responder a lo pactado si el dueño del contrato de opción decide ejercerla. (Garrido, 2003).

Para el caso de opciones reales, las opciones están asociadas a oportunidades de inversión futuras, de acuerdo a cómo se vayan presentando los distintos escenarios. Así durante el ciclo de vida de un proyecto de inversión se pueden presentar opciones de expansión o contracción de la capacidad de producción, abandono de un proyecto, esperar a su puesta en marcha o cambio a mejor uso alternativo, entre las más comunes.

En la visión tradicional, un alto nivel de incertidumbre conduce a reducir el valor de los activos. El enfoque de las opciones reales muestra que un incremento de la incertidumbre puede conducir a un alto valor de los activos si los directivos identifican y usan sus opciones de inversión para responder flexiblemente a los eventos que se desarrollan. Así, la figura 1 ilustra uno de los más importantes cambios en el enfoque de las opciones reales: la incertidumbre crea oportunidades. (Amram & Kulatilaka, 2000).

**Figura 1:** Enfoque de la teoría de opciones reales

**Fuente:** Amram. M. and Kulatilaka N., (2000).

El principal aporte de la teoría de opciones reales, en este sentido, es incorporar la visión estratégica e introducir la convicción de que la incertidumbre crea oportunidades.

El método de opciones reales funciona bajo la premisa de ausencia de oportunidades de arbitraje, y asume los proyectos como un conjunto de opciones de inversión que, de forma continua, brotan de anteriores asignaciones de recursos al resolverse las incertidumbres a través del tiempo. Estas opciones están representadas por distintas combinaciones de opciones de Venta y Compra similares a una opción financiera, las cuales son valoradas por el método de opciones reales. De esta manera, el método de opciones reales permite pasar de una evaluación estática, a través de los métodos tradicionales, a una evaluación dinámica e integral del proyecto.

A manera de resumen, es factible concluir que el valor de un proyecto de inversión al considerar su flexibilidad operativa, es decir las opciones que podría presentar el proyecto a futuro, puede ser calculado adicionando al Valor Actual Neto tradicional del proyecto sin flexibilidad, el valor de las opciones implícitas en el proyecto. A partir de esto nace el concepto de Valor Actual Neto Expandido o estratégico según:  $VAN \text{ Expandido} = VAN \text{ Tradicional} + \text{Valor de las opciones}$ .

### **Marco teórico de la evaluación socioeconómica de proyectos.**

La evaluación socioeconómica de proyectos consiste en comparar los beneficios con los costos que dichos proyectos implican para la sociedad; es decir, consiste en determinar el efecto que el proyecto tendrá sobre el bienestar de la sociedad.

En términos del monto del ingreso nacional, los beneficios sociales anuales (brutos) del proyecto se miden por el aumento que éste provoca en el ingreso nacional; los costos, por el ingreso nacional sacrificado (alternativo) por el hecho de haber efectuado este proyecto en lugar de otro (que es su mejor alternativa). Es así como el proyecto será rentable en la medida que el ingreso nacional generado por este sea mayor (o por lo menos igual) que aquel que se hubiera obtenido de ejecutar el mejor proyecto alternativo.

Para dimensionar y comprender de mejor manera los conceptos básicos de la evaluación socioeconómica de proyectos, la compararemos con su contraparte privada. La diferencia más relevante entre la evaluación privada y social, es que la primera valora los costos y beneficios a costo de mercado, mientras la segunda utiliza precios sombra de cuenta o eficiencia, o bien precios sociales. (Fontaine, 1991).

Estos precios sociales son calculados por el MIDEPLAN en el caso chileno, y su cálculo se hace a partir de tomar en cuenta los efectos que el proyecto genera en los consumidores-demandantes y los productores-oferentes, a la vez que considera la existencia de distorsiones (impuestos, subsidios, etc.), monopolios, monopsonios, efectos indirectos (efectos del proyecto en otros mercados relacionados) y externalidades.

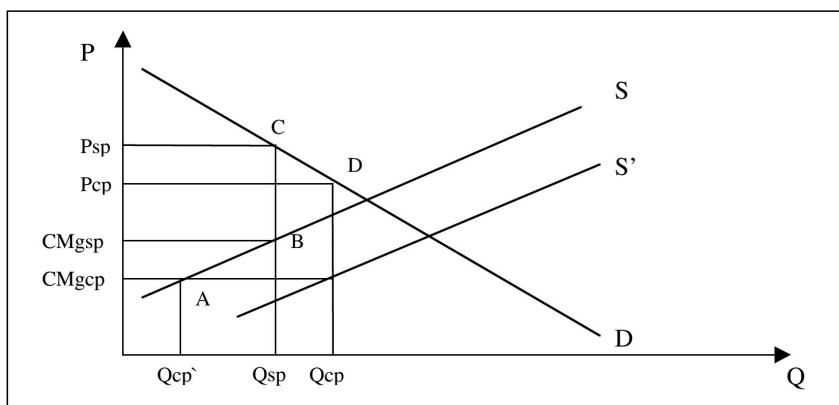
En Chile, el MIDEPLAN anualmente entrega los precios sociales de los siguientes recursos: el capital, las divisas, la mano de obra (desagregada en tres categorías), el tiempo, el combustible y los lubricantes. Al valorar los recursos de un mercado, utilizando precios sociales, ya se estarán considerando los efectos del proyecto para todos los agentes económicos involucrados en ese mercado.

Los precios sociales permiten determinar los verdaderos valores que reflejan la escasez relativa de los distintos recursos; por ejemplo, en comercio exterior (precio social de la divisa), en el empleo (precio social de la mano de obra), mercado de capitales (tasa social de descuento), entre otros. Al utilizar precios sociales se está considerando el verdadero costo (beneficio) que presenta para la sociedad utilizar (disponer) de una unidad más del insumo (producto). (Contreras, 2002).

Ahora, en cuanto al beneficio social otorgado por un determinado proyecto, se presentará a continuación un caso general de mercado imperfecto para explicar el cálculo de este beneficio.

Para efectuar el análisis se supone que el equilibrio se alcanza a la izquierda del punto de competencia perfecta indicado en la figura 2; es decir, se tranza una cantidad menor que la de competencia perfecta (podría ser por ejemplo, debido a un impuesto o a un monopolio). No importa el origen de la imperfección. En este caso, los equilibrios sin proyecto y con proyecto serían los siguientes:

**Figura 2:** Beneficios y costos sociales en mercados imperfectos.



**Fuente:** (Contreras, 2002).

Sin el proyecto existe una distorsión tal que  $P_{sp} > C_{Mgsp}$ ; es decir, se tiene un precio por el lado de la demanda y otro por el lado de la oferta. Luego de implementar el proyecto se desplaza la oferta pero continúa habiendo una distorsión. Por lo tanto se tiene que  $P_{cp} > C_{mgcp}$ .

El beneficio social (bruto), en este caso, corresponde al área  $Q_{cp}'ABCDQ_{cp}$ . Nuevamente este beneficio tiene dos componentes:

- a) El área  $Q_{sp}CDQ_{cp}$ , que corresponde al beneficio por mayor consumo asociado al incremento de la producción y el consumo del bien desde  $Q_{sp}$  hasta  $Q_{cp}$ .
- b) El área  $Q_{cp}'ABQ_{sp}$ , que representa un ahorro de costos de producción. Esta vez, debido a la expansión de la oferta cae el precio (desde  $P_{sp}$  hasta  $P_{cp}$ ) y cae el  $C_{mg}$ . Este último en la situación con proyecto determinará la cantidad ofrecida en el mercado, con lo que los antiguos productores se ven obligados a reducir la cantidad ofertada hasta  $Q_{cp}'$ . Por lo tanto al disminuir la producción se produce ahorro de costos de producción, que queda medido por la ya mencionada área  $Q_{cp}'ABQ_{sp}$ .

¿Qué relación existe entre dicho beneficio social y el beneficio privado bruto BPB?. El beneficio privado bruto (ingresos privados por venta) queda determinado por el precio con proyecto  $P_{cp}$  multiplicado por la producción del proyecto. La cantidad producida por el proyecto es  $Q_{cp} - Q_{cp}'$ , con lo que  $BPB = P_{cp} * (Q_{cp} - Q_{cp}')$ . Gráficamente no resulta claro ver que el BPB sea menor que el BSB (como ocurre en condiciones de competencia perfecta). De hecho en general ya no necesariamente se cumplirá que BSB sea mayor que BPB.

En un modelo de competencia perfecta, en condiciones de equilibrio de largo plazo (cuando no existen externalidades, ni distorsiones ni individualidades), los precios de mercado son idénticos a los precios sociales para una determinada distribución de ingreso. Por lo tanto, dado los supuestos mencionados, los resultados de la evaluación privada y social son coincidentes.

Además de la diferencia entre precios y beneficios entre evaluación privada y social, también deben considerarse las siguientes diferencias adicionales:

- a) En la evaluación socioeconómica de proyectos, los impuestos y subsidios se consideran como pagos de transferencia. Los impuestos son beneficios que el proyecto transfiere a la sociedad, para que el gobierno lo invierta de acuerdo con las prioridades nacionales vigentes. Alternativamente, los subsidios son un costo porque representan un sacrificio de recursos que realiza la sociedad para que el proyecto se implemente. En la evaluación privada, en cambio, los impuestos son considerados como un costo y los subsidios como ingresos para el proyecto.
- b) En la evaluación socioeconómica, los intereses del capital no se deducen del rendimiento bruto, dado que son parte de la rentabilidad global del capital, incluidos los intereses, que obtiene la sociedad. En la evaluación privada (financiera), los intereses pagados por el capital ajeno son costos y el reembolso del capital prestado se deduce antes de llegar a la corriente de beneficios. (Cohen & Franco.1993).

La evaluación socioeconómica de un proyecto también puede diferir de su correspondiente evaluación privada, debido a que ésta puede considerar los llamados beneficios y costos sociales indirectos: costos o beneficios que no están incluidos en las fórmulas indicadas anteriormente. Tal es el caso del descongestionamiento del tráfico urbano de superficie que conlleva la construcción de un ferrocarril subterráneo o el costo de contaminación ambiental que tiene una planta celulosa que arroja desperdicios a un río. Estos costos y beneficios sociales

indirectos han recibido también el nombre de efectos secundarios o externalidades intangibles de los proyectos.

## Metodología

Para estudiar la aplicación de la teoría de opciones reales en la evaluación socioeconómica de proyectos de inversión, se aplicó la metodología de opciones reales a 4 casos de estudio ya evaluados con los métodos tradicionales (VAN), a modo de efectuar una comparación y analizar sus resultados.

Para obtener información en cuanto a proyectos evaluados con anterioridad, se recurrió al Ministerio de Planificación (MIDEPLAN), organización encargada de determinar la rentabilidad social de las iniciativas de inversión pública. Dentro de los proyectos evaluados por MIDEPLAN existen algunos que no permiten valorar en términos económicos los beneficios o los costos involucrados en el proyecto, debido a que estos son intangibles pero afectan la decisión de realizar o no un proyecto. Ejemplos habituales de efectos intangibles son seguridad nacional, la integración regional, los efectos sobre el clima y el medio ambiente, la apreciación del nivel de seguridad de la población y similares. Estos tipos de proyectos no permiten la aplicación de la metodología de opciones reales, debido a que no representan un activo valorable económicamente.

En otros proyectos no es posible la valorización monetaria de los beneficios, por lo que se utilizan otros indicadores para cuantificar y valorar los beneficios. En estos se asume que la provisión de estos servicios es socialmente rentable y, por lo tanto las metodologías no pretenden medir beneficios sino alternativas de mínimo costo; en estos casos, los beneficios se miden por medio de la identificación y medición de impactos (no valorables económicamente), lo que se traduce en metodologías de costo efectividad o costo impacto. En estos casos se tienen, en general, algunos de los siguientes tipos de proyectos dentro de los más representativos: del área de salud, área educacional, área judicial y carcelaria y proyectos deportivos. Para este tipo de proyectos tampoco es posible la aplicación de la teoría de opciones reales, debido a que sus beneficios no son cuantificables monetariamente.

Descartados los tipos de proyectos antes indicados, se seleccionaron los siguientes casos de estudio:

- **Ruta costera Tirúa – Tranapuente.**
- **Extensión sur línea 2 metro Santiago.**
- **Puerto de Punta Arenas.**
- **Hospital “El Teniente”.**

Para la selección se tuvo en consideración el grado de incertidumbre, las posibles opciones futuras de proyecto (flexibilidad operativa) y la disponibilidad de información para llevar adelante la aplicación de la metodología de opciones reales (costos, beneficios, flujos de cajas, proyecciones de demanda, costos de opciones futuras, etc.). En este punto cabe destacar que, para que la aplicación del método de opciones reales tenga resultados representativos y que finalmente agregue valor al proceso de evaluación, es condicionante que el proyecto en evaluación a través de su vida útil esté expuesto a incertidumbre, y que en respuesta a esta incertidumbre pueda presentar una flexibilidad operativa materializada en opciones.

Para la evaluación de los proyectos en estudio con el método de opciones reales se escogió el método de valoración de opciones Binomial con Transformada Logarítmica. Este sistema fue propuesto por Trigeorgis (1991) y corresponde a una variación del método binomial



original con algunas mejoras que lo hacen ser un método numérico consistente, estable y eficiente desde el punto de vista computacional; además, es simple y práctico a la hora de describir el proceso estocástico que sigue el activo subyacente.

Para el caso de múltiples opciones presentes en un determinado proyecto, el método binomial original valora cada opción separadamente, para posteriormente sumarlas y así poder obtener el valor total de las opciones en su conjunto. Este valor total es, en cierta medida, inexacto, ya que las múltiples opciones interactúan entre sí, afectando unas a otras y al proyecto en sí.

La principal ventaja que presenta el método binomial con transformada logarítmica, con respecto al método original, es que permite capturar las interacciones entre múltiples opciones presentes en un proyecto, representado numéricamente de manera más adecuada y apegada a la realidad la flexibilidad operativa del proyecto.

El método binomial consiste en 4 pasos principales: determinación de los parámetros iniciales, cálculos preliminares, determinación de los valores terminales y el proceso iterativo hacia atrás.

Si en cualquier instante  $j$ , al realizar el movimiento iterativo hacia atrás se encuentra una opción real, el valor total de la inversión es ajustado para reflejar la asimetría introducida por la opción. El valor total cambia entonces de  $R$  a  $R'$ , de acuerdo a la siguiente tabla:

**Tabla 1:** Ajustes del valor de la inversión según el tipo de opción.

Tipo de opción	Valor
Cambio a mejor uso alternativo con valor de salvamento $S$	$R' = \max(R, S)$
Expandir $e\%$ invirtiendo $I_e$ .	$R' = R + \max(eV - I_e, 0)$ .
Contraer en un $c\%$ ahorrando $I_c$ .	$R' = R + \max(I_c - cV, 0)$ .
Abandonar ahorrando $I_a$	$R' = \max(R - I_a, 0)$ .
Esperar hasta un próximo período	$R' = \max( ^{-r} E(R_{j+1}), R_j)$ .

**Fuente:** Garrido (2003).

Para valorar las opciones, el método binomial con transformada logarítmica asume un escenario donde los individuos son neutrales al riesgo; es decir, los inversores no necesitan compensaciones por riesgo y la rentabilidad esperada de la opción o su portafolio replicador son independientes de las preferencias por riesgo. Lo anterior responde a un principio general en valoración de opciones conocido como "valoración neutral al riesgo". Este establece que para valorar opciones es posible, sin pérdida de exactitud, suponer que el mundo es neutral al riesgo, por lo tanto, la rentabilidad esperada de los activos en un mundo neutral al riesgo es el tipo de interés libre de riesgo.

En el caso de la evaluación de proyectos privados, la tasa libre de riesgo necesaria para la aplicación del método binomial con transformada logarítmica está bien definida y se asocia típicamente a aquel emisor que presenta menos riesgo crediticio en el sistema financiero; sin embargo, para el caso de la evaluación socioeconómica de proyectos, las instituciones gubernamentales sólo dan a conocer una única tasa social de descuento, la cual incorpora primas por riesgo. Para la aplicación del método binomial con transformada logarítmica a proyectos de inversión pública se debió, por lo tanto, determinar una "tasa social de descuento libre de riesgo" para que éste sea concordante con el principio de neutralidad al riesgo.

Para determinar esta tasa libre de riesgo se deben identificar las primas por riesgo incluidas en cada componente de la tasa de descuento original, para luego desagregarlas y de esta manera obtener una tasa social de descuento libre de riesgo. Los componentes que consideran primas por riesgo corresponden a la Tasa de captación del ahorro interno (tp), la Tasa de rendimiento de la inversión (q) y el costo marginal del ahorro externo (CMgx).

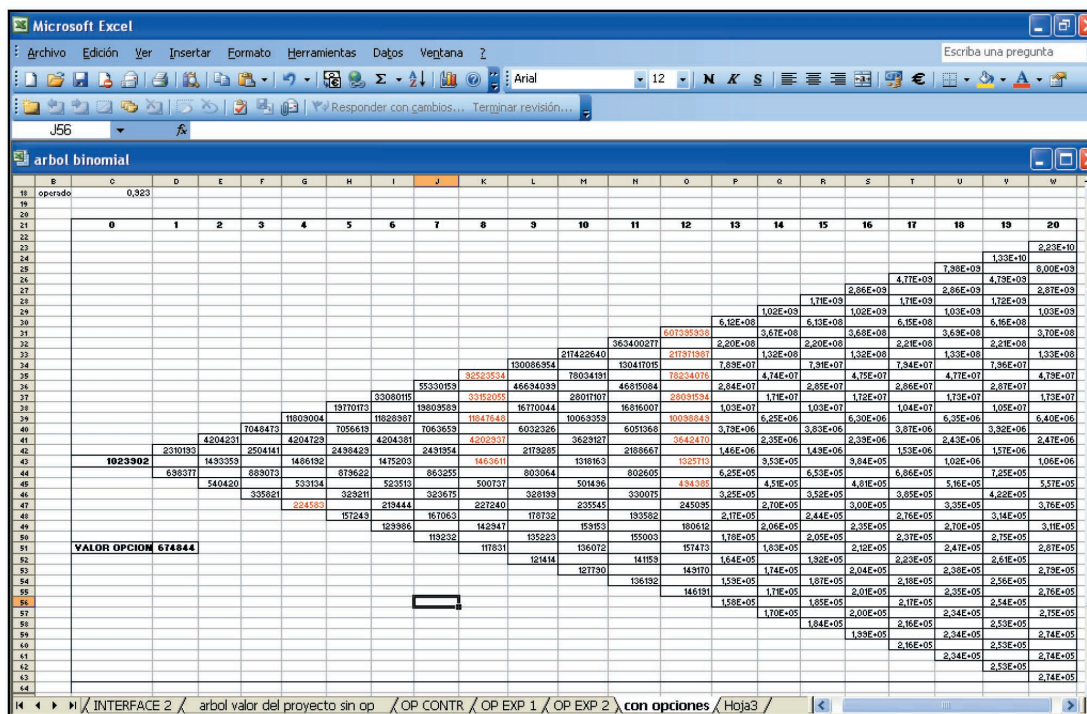
Para poder realizar la valoración de opciones se creó un programa en el software Microsoft Excel XP, el cual nos permite la valoración automática de problemas de valoración de proyectos de inversión mediante el método Binomial con transformada logarítmica.

El programa consta de 3 interfaces principales: en la primera interface se ingresan los parámetros de entrada, a partir de los cuales el programa calcula los parámetros internos del modelo. Esta interface corresponde a los pasos 1 y 2 del proceso de solución del método binomial con transformada logarítmica.

En la segunda interface se calcula el desarrollo estocástico del valor del proyecto. Esta interface corresponde al paso 3 del proceso de solución del método binomial con transformada logarítmica.

La tercera interface corresponde al paso 4 de método binomial con transformada logarítmica, en donde se realiza el proceso iterativo hacia atrás mediante un operador de descuento. Esta interface permite finalmente obtener el valor actual neto expandido del proyecto, incorporando al análisis las opciones reales presentes en el proyecto.

**Figura 3:** Tercera interface del programa. Valores en rojo representan las asimetrías en el valor del proyecto producto de opciones reales.



## RESULTADOS

### **Aplicación del método de opciones reales a la evaluación del proyecto “ruta costera Tirúa-Tranapunte”.**

El proyecto “ruta costera Tirúa-Tranapunte” consiste en la pavimentación del tramo Tirúa-Tranapunte, con lo cual se completaría la pavimentación de la ruta costera de la octava región entre Tirúa y el límite sur y, en la novena, entre Tranapunte y el límite norte, permitiendo generar ahorros de costos de operación y tiempo de viaje para los usuarios y, eventualmente, favorecer el desarrollo de actividades como el turismo, la pesca, la agricultura y la industria forestal. Además, permitirá la integración de diversas zonas que actualmente se encuentran aisladas en algunas épocas del año, debido a condiciones climáticas y geográficas.

La evaluación del proyecto efectuada por el MIDEPLAN con el método tradicional arrojó un VAN de 2093 MM\$, con una tasa de descuento del 10% y un horizonte de evaluación de 24 años. Los costos del proyecto corresponden a los asociados a la ejecución de las obras (inversiones en construcción, costo por molestia e impacto ambiental) y al uso de la ruta (conservación rutinaria y periódica). Por otro lado los beneficios atribuibles al proyecto corresponden a los ahorros de costos generalizados de viaje (disminución de los costos de operación de los vehículos y tiempo de viaje de los usuarios) y la disminución de accidentes. (CIAPEP, 2002).

A continuación para la aplicación del método de opciones reales, se debieron determinar las posibles opciones de inversión futuras como respuesta a la incertidumbre que presenta el proyecto, principalmente en cuanto a la demanda futura debido a las posibles reasignaciones de vehículos desde otras vías, posterior a materializado el proyecto.

La primera opción presente en el proyecto corresponde a una opción de expansión asociada a la construcción de una tercera pista adicional en el kilómetro 0,5 de la ruta Tirúa-Tranapunte. La segunda opción corresponde a una opción de expansión, producto de la construcción de una tercera pista adicional en el kilómetro 16,2 de la ruta Tirúa-Tranapunte.

Identificadas las opciones de inversión del proyecto, se aplicó el programa computacional para obtener el valor del proyecto según el método binomial con transformada logarítmica, y de acuerdo a los siguientes datos de entrada:

- Valor presente de los flujos de caja, sin incluir costos de inversión: 6455.
- Tasa Social de descuento libre de riesgo: 8%. Varianza de los flujos del proyecto: 0,54, de acuerdo a valores históricos y estimación de demanda.
- Horizonte de evaluación: 24 años.
- Opciones presentes:
  1. Opción de expansión en el año 5 en un porcentaje de 3,5%, incurriendo en una inversión adicional de 37,3 millones.
  2. Opción de expansión en el año 7 en un porcentaje de 5,1%, incurriendo en una inversión adicional de 86,8 millones.

El programa computacional arrojó los siguientes resultados resumidos a continuación:

OPCION	VAN TRADICIONAL	VAN EXPANDIDO	VALOR DE LA OPCION
1ª OPCION	2093	2301	208
2ª OPCION	2093	2395	302
1ª+2ª OPCION	2093	2609	516

### Aplicación del método de opciones reales a la evaluación del proyecto “Extensión sur línea 2 metro de Santiago”.

El proyecto consiste en la extensión sur de la línea 2 del Metro, a partir de la Estación Lo Ovalle hasta Avda. Américo Vespucio, en una longitud de 2,35 Km. La nueva estación Terminal de la línea 2 se ubicaría en la intersección de Gran Avenida con Américo Vespucio Sur.

Con el método tradicional, la evaluación del proyecto resultó con un VAN de M \$ - 11.754.799, con una tasa de descuento del 12% y un horizonte de evaluación de 24 años. Los beneficios del proyecto están dados por el ahorro en los tiempos de viaje, ahorro de costos de operación de los vehículos de superficie, disminución de recorridos de los modos que combinan con el Metro, menor contaminación y disminución de accidentes. Por otro lado, los costos del proyecto corresponden a inversión en infraestructura y costos asociados al congestionamiento del tráfico vehicular durante la etapa de construcción. (CIAPEP, 1999).

Las opciones reales que se presentan para este caso de estudio responden a la incertidumbre dada en función del crecimiento de la población en los sectores comprometidos y cambios en las rutas de viajes de los usuarios entre pares origen-destino producto del proyecto.

La primera opción se presenta en el año 4, y consiste en la construcción de una estación intermedia en Av. el parrón entre Lo Ovalle y A. Vespucio.

La segunda opción que presenta el proyecto es también una opción de expansión, y corresponde a la construcción de 2 estaciones intermedias entre Lo Ovalle y A. Vespucio.

La tercera opción corresponde a una opción de contracción y se presenta a partir del año 15. Esta opción está asociada a la disminución de la cantidad de trenes en circulación.

Por lo tanto, los datos de entrada para el programa computacional fueron los siguientes

- Valor presente de los flujos de caja, sin incluir costos de inversión: M\$5.456.857.
- Tasa Social de descuento libre de riesgo: 8%.
- Varianza de los flujos del proyecto: 0,64, de acuerdo a valores históricos y estimación de demanda.
- Horizonte de evaluación: 24 años.
- Opciones presentes:
  1. Opción de expansión en el año 4 en un porcentaje de 38%, incurriendo en una inversión adicional de MM\$1.286.
  2. Opción de expansión en el año 10 en un porcentaje de 60,4%, incurriendo en una inversión adicional de MM\$2.525.
  3. Opción de contracción en el año 15 en un porcentaje de 6,5%, ahorrando MM\$3.101.

A continuación se presentan los resultados obtenidos al aplicar la teoría de opciones reales, según el método de valoración binomial con transformada logarítmica.

OPCION	VAN TRADICIONAL	VAN EXPANDIDO	VALOR DE LA OPCION
1ª OPCION	-11.754.799	-10.432.347	1.322.452
2ª OPCION	-11.754.799	-9.028.661	2.726.138
3ª OPCION	-11.754.799	-11.141.718	613.081
CONJUNTO OPCIONES	-11.754.799	-5.260.769	6.494.030

### **Aplicación del método de opciones reales a la evaluación del proyecto “Puerto Punta Arenas”.**

El proyecto consiste en la construcción de un muelle ubicado en la bahía Catalina, orientado casi paralelamente a la costa, unido a ésta por un puente de acceso de 110 mts. Adicionalmente al muelle se contempla la construcción de almacenes y patios para almacenaje y transporte de la carga, y edificaciones para oficinas administrativas, talleres y otros.

La evaluación del proyecto con el método tradicional efectuada por el MIDEPLAN arrojó un VAN de M\$ 349.058, con una tasa de descuento del 12% y un horizonte de evaluación de 20 años. Los costos del proyecto están asociados a la inversión (construcción del puente de acceso, muelle, obras de protección y urbanización), costos de operación por sitios adicionales, costos de transporte de carga al interior del recinto portuario y costos de mantenimiento de obras. Los beneficios del proyecto corresponden, principalmente, a ahorro de costos de dragado y ahorro por disminución de tiempos de espera en la bahía y de servicio de una nave en puerto, además de incentivar el intercambio económico en la región. (CIAPEP, 2000).

Las opciones reales que se definen a continuación nacen a partir de la incertidumbre que presenta el proyecto en relación a la demanda futura por transporte marítimo; para este caso, la demanda futura está sujeta a fuentes de incertidumbre tales como desarrollo de la región, crecimiento económico de los rubros asociados e ingreso per capita y del consumo de la población.

La primera opción que presenta el proyecto es una opción de contracción, la cual está asociada a la reducción de un turno para el régimen de trabajo de los empleados del puerto.

La segunda opción es una opción de expansión, la cual corresponde al aumento de 4.000 mts<sup>2</sup> de almacenes y 20.000 mts<sup>2</sup> de explanadas y patios.

La tercera opción también corresponde a una opción de expansión, la cual consiste en aumentar el tamaño del puerto de 180 mts. a 300 mts.

Así, los parámetros de entrada para el programa computacional fueron los siguientes:

- Valor presente de los flujos de caja sin incluir costos de inversión: M\$ 788.937.
- Tasa Social de descuento libre de riesgo: 8%.
- Varianza de los flujos del proyecto: 0,51, de acuerdo a valores históricos y estimación de demanda.
- Horizonte de evaluación: 20 años.
- Opciones presentes:
  1. Opción de contracción en el año 4 en un porcentaje de 25%, ahorrando \$62.000.000.

2. Opción de expansión en el año 8 en un porcentaje de 19%, incurriendo en una inversión adicional de \$100.630.000.
3. Opción de expansión en el año 12 en un porcentaje de 66%, incurriendo en una inversión adicional de \$210.780.000.

Los resultados obtenidos, a partir del método binomial con transformada logarítmica para este caso de estudio, se indican a continuación.

OPCION	VAN TRADICIONAL	VAN EXPANDIDO	VALOR DE LA OPCION
1ª OPCION	349.058	351.689	2631
2ª OPCION	349.058	465.398	116.340
3ª OPCION	349.058	822.220	473.162
CONJUNTO OPCIONES	349.058	1.023.902	674.844

### Aplicación del método de opciones reales a la evaluación del proyecto “Hospital El Teniente”.

El proyecto consiste en la construcción de una clínica en la ciudad de Rancagua, para suplir las deficiencias de la atención de salud para los trabajadores de “El Teniente”. La construcción de la clínica está proyectada en el terreno ubicado en la carretera el cobre en la ciudad de Rancagua. La clínica está compuesta por una clínica general para la atención cerrada, con 60 camas, y el consultorio general y de especialidades para la atención abierta, con 16 boxes.

Con el método tradicional, la evaluación del proyecto resultó con un VAN de M \$ 8.105 con una tasa de descuento del 12% y un horizonte de evaluación de 19 años. Los beneficios del proyecto están dados principalmente por el reemplazo de producción de otros productores, liberándose, en este último caso, recursos que pueden reinvertirse en otra área de la economía. Además, existen beneficios en cuanto a mejoramiento de nivel de salud de la población, descongestión de otros centros hospitalarios y ahorros de costos de transporte y tiempo de viaje de los pacientes. Por otro lado, los costos del proyecto corresponden a inversión en infraestructura y costos de operación. (CIAPEP, 1998)

Para este caso, las opciones reales que se presentan responden a la incertidumbre dada en función del crecimiento de la población en los sectores de influencia, y cambios en las preferencias de atención abierta y cerrada en el sistema de salud de la región, como consecuencia del proyecto.

La primera opción corresponde a una opción de expansión presente a contar del año 4. Esta opción consiste en la expansión de la cobertura del proyecto; es decir, se extiende la atención de la clínica a la población extra del Teniente.

La segunda opción también esta asociada a una opción de expansión, y corresponde a la construcción de un módulo para absorber el potencial aumento de la demanda por atención abierta. El nuevo módulo aumentaría a 39 boxes la capacidad de la clínica.

La tercera opción se presenta a contar del año 11, y también está definida como una opción de expansión, la cual consiste en aumentar la capacidad del número de camas de la clínica para aprovechar los potenciales aumentos de demanda por atención cerrada.

La cuarta opción es una opción de cambio a mejor uso alternativo, la cual consiste en liquidar la infraestructura y equipamiento de la clínica.

Los valores de entrada ingresados al programa para el cálculo del valor de las opciones fueron los siguientes:

- Valor presente de los flujos de caja, sin incluir costos de inversión: M\$305.246
- Tasa Social de descuento libre de riesgo: 8%.
- Varianza de los flujos del proyecto: 0,6, de acuerdo a valores históricos y estimación de demanda.
- Horizonte de evaluación: 19 años.
- Opciones presentes:
  1. Opción de expansión en el año 4 en un porcentaje de 68%, incurriendo en una inversión adicional de \$175.945.000.
  2. Opción de expansión en el año 7 en un porcentaje de 28%, incurriendo en una inversión adicional de \$43.350.000.
  3. Opción de expansión en el año 11 en un porcentaje de 25%, incurriendo en una inversión adicional de \$68.932.000.
  4. Opción de cambio a mejor uso alternativo con un valor de salvamento de \$88.160.000.

El programa computacional arroja los siguientes resultados resumidos a continuación:

OPCION	VAN TRADICIONAL	VAN EXPANDIDO	VALOR DE LA OPCION
1ª OPCION	8.105.000	134.144.000	126.039.000
2ª OPCION	8.105.000	78.412.000	70.307.000
3ª OPCION	8.105.000	72.984.000	64.879.000
4ª OPCION	8.105.000	19.442.000	11.337.000
CONJUNTO OPCIONES	8.105.000	404.411.000	396.306.000

## DISCUSION

Del proceso de selección de casos de estudio para la aplicación de la teoría de opciones reales, se pudo concluir que para los siguientes proyectos el método de opciones reales no es aplicable:

- Proyectos que no presentan costos y beneficios cuantificables.
- Proyectos con beneficios cuantificables, pero no valorables monetariamente; en estos casos, los beneficios se miden por medio de la identificación y medición de impactos.

Analizados los resultados obtenidos a partir del método de valoración de opciones binomial con transformada logarítmica, se constató que, para todos los casos de estudio, el valor del proyecto, al considerar el conjunto de opciones reales, fue superior al calculado a través del método tradicional del VAN. De esta manera, se concluye que el método de opciones reales representa un valioso aporte para el proceso de evaluación socioeconómica y gestión estratégica de proyectos de inversión pública bajo condiciones de incertidumbre.

Habiendo efectuado un análisis de todos los sectores en que se destinan inversiones públicas, es posible indicar que el método de opciones reales se ajusta de mejor manera y representa un real aporte en los proyectos asociados a los siguientes sectores:



- Vialidad urbana e interurbana (construcción de carreteras, puentes y similares), en donde se dan con mayor frecuencia incertidumbres en cuanto a demanda de usuarios.
- Transporte (sector ferroviario, transporte urbano como metro y buses, aeropuertos, aeródromos, etc).
- Infraestructura en sectores que presenten alta incertidumbre en cuanto a desarrollo regional, crecimiento poblacional, desarrollo turístico y económico. Dentro de este sector podemos mencionar, a manera de ejemplo, la construcción de puertos, hospitales, centros asistenciales, etc.

Asimismo, en base a lo desarrollado con los casos reales de estudio, se puede indicar que las opciones de inversión más comunes en proyectos públicos son opciones de expansión, contracción y cambio a mejor uso alternativo. Lo anterior se puede explicar debido a que opciones, tales como abandono y esperas, no son frecuentes en proyectos públicos, debido a que los actores gubernamentales, que disponen de las inversiones públicas, generalmente adquieren compromisos con la ciudadanía que no permiten abandonar el proyecto o aplazar su puesta en marcha.

Finalmente, a partir del desarrollo efectuado con el método binomial con transformada logarítmica, cabe hacer presente que la interdependencia de las opciones reales asociadas a un mismo proyecto invalida la aplicación del principio de aditividad de las opciones por separado en la estimación del VAN ampliado. En su lugar, la valoración de aquellas ha de efectuarse de manera conjunta, teniendo en consideración las influencias recíprocas que los diferentes tipos de opciones ejercen entre sí.

## REFERENCIAS

- Kester, W. C., (1984), **“Today’s Option for Tomorrow’s Growth”**, Harvard Business Review, N°62.
- Garrido, I., (2003), **“Análisis y estudio de metodología de opciones reales para la evaluación comparada de proyectos de inversión”**, tesis de Magister ingeniería industrial, Universidad de Concepción.
- Amram, M. and Kulatilaka N., (2000), **“Opciones reales: Evaluación de inversiones en un mundo incierto”** Gestión 2000.
- Fontaine., E., (1991), **“Evaluación social de proyectos”**, ediciones alfaomega 12ª edición.
- Contreras., E., (2002) **“Evaluación de inversiones publicas: enfoques alternativos y su aplicabilidad para Chile”**, Centro de gestión departamento de Ingeniería Industrial Universidad de Chile.
- Cohen., E., y Franco., R., (1993), **“Evaluación de proyectos sociales”**, ediciones siglo veintiuno.
- Trigeorgis., L., (1991), **“A log-transformed Binomial Numerical Analysis Method for Valuing Complex Multi-Option Investments”**, Journal of Financial and Quantitative Analysis, Vol. 26, n°3.



- CIAPEP, (2002), “**Ruta costera Tirua-Tranapunte**” CIAPEP, Universidad Católica de Chile.
- CIAPEP, (1999), “**Extensión sur Línea 2 metro de Santiago**” CIAPEP, Universidad Católica de Chile.
- CIAPEP, (2000), “**Puerto Punta Arenas**” CIAPEP, Universidad Católica de Chile.
- CIAPEP, (1998), “**Hospital El teniente**” CIAPEP, Universidad Católica de Chile.

