

**OPCIONES REALES EN INVERSIONES PÚBLICAS:
UN ESLABÓN QUE FALTA**
Revisión de literatura y enfoque conceptual

*Sergio Alejandro Hinojosa**

**Documentos de
Trabajo**

N.º 21

Marzo de 2009

* PhD (c) en Management Science de ESADE-ESAN. MSc in Finance en The George Washington University (Estados Unidos) y egresado del Master of Arts in Economics en Georgetown University. Ingeniero comercial y licenciado en Ciencias Económicas de la Universidad de Concepción, Chile. Socio director de IKONS ATN y consultor internacional en asociaciones público privadas en infraestructura. Profesor de Finanzas y Microeconomía de la Universidad Técnica Federico Santa María, Chile. E-mail: <shinojosa@ikons.cl>.

ESAN/Cendoc

Hinojosa, Sergio Alejandro

Opciones reales en inversiones públicas: un eslabón que falta. Revisión de literatura y enfoque conceptual. –Lima : Universidad ESAN, 2009. – 78 p. – (Serie Documentos de Trabajo n.º 21).

EVALUACIÓN DE PROYECTOS / PROYECTOS DE INVERSIÓN / INVERSIONES PÚBLICAS / OPCIONES / OPCIONES REALES

HG 6024 H55

© Universidad ESAN
Av. Alonso de Molina 1652, Surco, Lima-Perú
Marzo de 2009

www.esan.edu.pe

esanediciones@esan.edu.pe

Hecho el Depósito Legal en la Biblioteca Nacional del Perú N.º 2009-04189
Prohibida su reproducción sin permiso de los editores.

Las opiniones y recomendaciones de los autores son de su exclusiva responsabilidad y no reflejan, necesariamente, el punto de vista de la Universidad ESAN. Los documentos de esta serie dan a conocer hallazgos parciales o preliminares de trabajos en curso que pueden enriquecerse de la discusión o el comentario antes de su versión final.

R E S U M E N

En este trabajo se examina la relación entre la evaluación social de proyectos de inversión pública y las opciones reales, mediante una revisión de literatura, lo que permite construir un marco conceptual.

La técnica tradicional para evaluar alternativas de inversión pública, por medio del análisis costo-beneficio, no captura apropiadamente la incertidumbre inherente al proyecto. Además, no incorpora la flexibilidad de que dispone la sociedad en el modelo de evaluación. Para corregir estas fallas surge una metodología complementaria llamada opciones reales, la cual ha sido estudiada y aplicada a la valoración de inversiones privadas, mas no a las evaluaciones sociales de proyectos de infraestructura que realiza el sector público en representación de la sociedad (Myers, 1977; Kester, 1984; Brennan y Schwartz, 1985a).

Dado que la evaluación social mide la contribución de los proyectos de inversión al bienestar de la sociedad y normalmente la ciencia económica ha establecido el crecimiento económico como una aproximación del bienestar social, se examina primero, de manera conceptual, la relación entre flexibilidad y crecimiento económico, y se entrega evidencia que permite fundamentar que el uso de opciones reales como método complementario a la metodología existente es Pareto-Eficiente y que completa el mercado en el sentido Arrow-Debreu, de tal forma de capturar conceptual y analíticamente el manejo de la flexibilidad por parte de la sociedad.

Palabras clave: inversión pública, evaluación de proyectos, opciones reales, valor presente neto, flexibilidad.

A BSTRACT

In this work we examine the relationship between public investment and real options using literature review that allow us to build a conceptual framework analysis.

Traditional techniques to assess public investment projects using cost-benefit analysis does not capture appropriately inherent uncertainty, and neither does it incorporate in the evaluation the flexibility that society has available. To improve the current appraisal model, we have a complementary methodology called Real Options, which has been studied and only applied to private capital budgeting decisions but not to social infrastructure project evaluation that are carried out for the public sector in representation of the society (Myers, 1977; Kester, 1984; Brennan y Schwartz, 1985a).

Given that social evaluation measures the contribution from the investment projects to the social welfare and normally the economic science had established the economic growth as a proxy of the society welfare, first the relationship between flexibility and economic growth is examined and we provide evidence that allows to support the use of Real Options as a complementary methodology is Pareto-Efficient, and complete market in the Arrow-Debreu approach in order to capture conceptual and analytically management flexibility by the society.

Key words: Public Investment, Project Appraisal, Real Options, Net Present Value, Flexibility.

CONTENIDO

Introducción	7
1. Mapa de literatura y revisión conceptual	9
1.1. Capacidad empresarial, flexibilidad y crecimiento	11
1.2. Inversión en capital privado, flexibilidad y crecimiento	14
1.3. Completitud de mercados, flexibilidad y crecimiento	14
1.4. Capital de infraestructura pública, flexibilidad y crecimiento	16
2. Análisis de costo-beneficio para la asignación de recursos a la inversión pública	19
3. Análisis de costo-beneficio y análisis de decisiones de inversión privada	26
4. La incertidumbre y el riesgo	29
5. Virtudes y defectos del análisis costo-beneficio	32
6. Incorporación de las opciones reales en el análisis costo-beneficio: una necesidad paretiana	35
7.1. Marco de análisis	35
7.2. Opciones reales	36
7. Evaluación privada de inversiones y opciones reales	39
7.1. Breve historia del valor actual neto en presupuestos de capital y valoración de inversiones	39
7.2. Método del valor actual neto (VAN)	41
7.3. Definiciones y tipos de opciones reales	42
7.4. Técnicas de valoración	44
8. Metodología de opciones reales	46
8.1. Aspectos metodológicos	46
8.2. Ilustraciones de la metodología	49
8.3. Implicancias para la evaluación social de proyectos	50
8.4. Opciones de crecimiento en la evaluación social de proyectos	53
8.5. Inversiones por etapa en el análisis costo-beneficio	54
9. Sistemas nacionales de inversión pública y metodologías de evaluación de proyectos	57
10. Recomendaciones de futuras áreas de investigación	61
Conclusiones	62
Referencias bibliográficas	65

OPCIONES REALES EN INVERSIONES PÚBLICAS: UN ESLABÓN QUE FALTA

Revisión de literatura y enfoque conceptual

Sergio Alejandro Hinojosa

Introducción

La inversión pública constituye uno de los elementos centrales de la política económica y forma parte de la política fiscal de un país. En efecto, la construcción y la ampliación de carreteras, puertos, ferrocarriles, aeropuertos, represas, sistemas de energía, sistemas de alcantarillado y agua potable se financian, en gran parte, con presupuesto de inversión pública. La mayoría de los países sigue un proceso de evaluación social de proyectos¹ con el fin de medir la verdadera contribución de la inversión pública al crecimiento económico de un país².

En la mayoría de estos sistemas de inversión, el análisis costo-beneficio es recomendado como la técnica por usar en el análisis formal de evaluación de proyectos y programas públicos. No obstante, en la esfera pública, en muchas de estas decisiones de inversión que utilizan el criterio costo-beneficio mediante el cálculo del valor actual neto (VAN) –por ejemplo, en sectores tales como transporte, energía, tecnología y saneamiento–, tanto las oportunidades de crecimiento futuro como las decisiones de seguir, postergar, ampliar o abandonar una inversión, requieren flexibilidad. Aun más, la sociedad, representada por los poderes públicos (Ejecutivo y Legislativo), tiene la flexibilidad gerencial y las herramientas específicas para adaptarse en la búsqueda del interés colectivo, una vez que se revela nueva información mediante diferentes opciones reales que se presentan en el desarrollo del proyecto.

En efecto, en los últimos años, el uso de las opciones reales (*real options*) como complemento de la evaluación financiera (*capital budgeting*) ha sido creciente en varias compañías privadas. A partir de los trabajos pioneros sobre valorización de opciones financieras planteadas por Black y Scholes (1973) y Merton (1973), Myers, en 1977, fue el primero en plantear una explicación acerca de las opciones reales en evaluación de inversiones. Posteriormente, le siguen Kester (1984), Brennan y Schwartz (1985a, 1985b), Majd y Pyndick

1 Se usa como sinónimos evaluación social de proyectos, evaluación socioeconómica de proyectos y análisis costo-beneficio.

2 Solamente en el caso de los Estados Unidos, la inversión pública presupuestada para el año 2007 en los sectores de agricultura, transporte y energía asciende a más de 50 mil millones de dólares (The Budget of the United States Government, 2007). Por su parte, de acuerdo con el BID (2006), en el caso de América Latina, las inversiones totales en infraestructura pública y privada, tanto de expansión como de mantenimiento, llegaron a 47 mil millones de dólares en el año 2005, lo que representa alrededor del 2 por ciento del PIB regional. En dicha región, los países que más inversión pública realizan como porcentaje del PIB son: Brasil, Chile y México; mientras que en el resto del mundo destacan Alemania, Japón, Reino Unido, China, Canadá y Francia en porcentajes que fluctúan entre el 3% y el 6% del PIB.

(1985), Mc Donald y Siegel (1986). Por su parte, Trigeorgis y Mason (1987), Pindyck (1988) y Dixit (1989) sostienen que el método del valor actual neto (VAN) es incompleto y, por lo tanto, falla para la valoración de inversiones en presencia de incertidumbre y flexibilidad empresarial.

A partir de estos trabajos académicos, durante la década de los años 1990 y en lo que va de la de 2000, ha emergido una vasta literatura e investigación orientada a detectar y proponer nuevas formas de planificar, plantear y valorar las decisiones de inversión privadas en ambientes estratégicos, complementando el criterio del VAN con la valorización de la flexibilidad. Sus aplicaciones se han realizado en el campo de la valorización de inversiones y desde una óptica estrictamente privada. Las áreas consideradas han sido investigación y desarrollo (I&D), evaluación de desarrollos inmobiliarios, valoración de empresas de tecnología, la industria farmacéutica y biotecnología, inversiones mineras y petroleras, proyectos de adquisición y puesta en marcha de plantas de energía, incluso en valorización de clubes de fútbol, entre otras (Howell et ál., 2001; Schwartz y Trigeorgis, 2003). A este nuevo paradigma se le ha denominado *Teoría de Opciones Reales*. Alrededor de este nuevo paradigma –en el lenguaje de Kuhn (1962)–, se ha generado una importante comunidad científica.

Sin embargo, cabe señalar que en ninguna de estas referencias se fundamenta que la teoría de opciones reales también puede (o no) ser aplicada de manera directa a la evaluación socioeconómica de proyectos, la que se realiza principalmente por medio del análisis costo-beneficio que usa al VAN como instrumento analítico de valoración. Especial importancia tiene la relación de las opciones reales con la implementación de inversiones y programas estratégicos ejecutados por los gobiernos, así como con el diseño de contratos para desarrollo de infraestructura de largo plazo, que incorporen el concepto de flexibilidad.

En consecuencia, resulta interesante entregar una primera aproximación conceptual de la relación entre la teoría de opciones reales y la evaluación social de proyectos en cierto tipo de inversiones públicas, donde los elementos de flexibilidad son centrales en el momento de tomar decisiones de inversión. Por ejemplo, es el caso de aquellas que tienen una dosis importante de incertidumbre en costos y demanda futura.

Como lo señala Creswell (2003), uno de los objetivos de la revisión de la literatura es aportar un marco de referencia inicial que permita orientar de manera concreta las preguntas de investigación de un estudio. Al respecto, para el presente trabajo, las preguntas que ordenan la revisión de literatura son las siguientes:

- ¿La tecnología que proporciona la teoría de opciones reales debe usarse en la evaluación de proyectos que realiza el sector público?

- ¿La sociedad (representada por el sector público) debe valorar como un activo la capacidad gerencial para disponer de alternativas, opciones y flexibilidad en la toma de decisiones en proyectos públicos de carácter estructural y estratégicos?

En ese sentido, el objetivo del presente documento es entregar una primera aproximación conceptual, basada en la revisión de literatura, que muestra la conexión entre la teoría de opciones reales, la creación de riqueza y la evaluación social de proyectos públicos. Por medio del análisis de la literatura, se brinda evidencia conceptual que permite fundamentar por qué es necesario complementar la metodología tradicional del análisis costo-beneficio con el uso de opciones reales, de tal forma de capturar, conceptual y analíticamente, el manejo de la flexibilidad por parte de la sociedad.

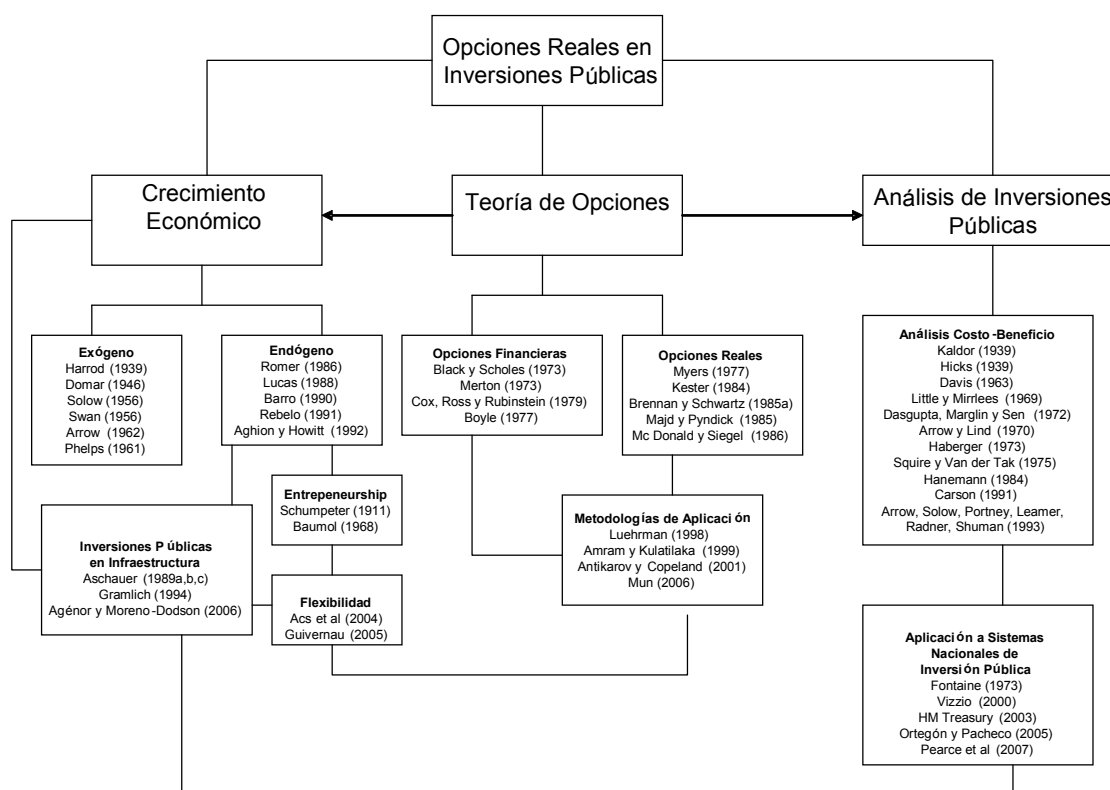
El documento se organiza de la siguiente manera. En la primera sección se presenta la relación entre crecimiento económico y flexibilidad, así como su correspondiente revisión de literatura. Se fundamenta que el valor de la flexibilidad impacta positivamente en el crecimiento y, por ende, incrementa la riqueza de la sociedad. En la segunda sección, se analiza la metodología de asignación de recursos de inversión pública que se utiliza en la actualidad. La tercera sección introduce elementos para responder a la interrogante de si la actual metodología de costo-beneficio es la correcta para la evaluación de proyectos públicos en ambientes de incertidumbre y flexibilidad estratégica, dando paso posteriormente a la cuarta sección, en donde se examina la incorporación de la incertidumbre y el riesgo a la evaluación social de proyectos. En la quinta sección, se discuten las virtudes y defectos del análisis costo-beneficio. En la sexta sección, se identifica la necesidad, desde el punto de vista de la eficiencia económica, de incorporar la metodología de opciones reales al análisis costo-beneficio. En la séptima sección, se presenta la relación entre la evaluación privada de proyectos y las opciones reales y su correspondiente revisión de literatura. En la octava sección, se muestran ejemplos de la aplicación metodológica de las opciones reales a inversiones públicas. En la novena sección, se diagnostica la implementación de metodologías de evaluación en algunos sistemas nacionales de inversión pública que se consideran representativos para el presente trabajo. En la décima sección, se proponen líneas de investigación futura. Finalmente, en la undécima sección, se señalan las conclusiones.

1. Mapa de literatura y análisis conceptual

Los campos de análisis para estudiar la conexión entre opciones reales e inversiones públicas son tres: en primer lugar, se encuentra la teoría de opciones, que a su vez puede ser dividida en opciones financieras, sus métodos de valoración y la teoría de opciones reales. En segundo lugar, están las teorías de crecimiento económico y su relación con las inversiones públicas, particularmente en infraestructura y capacidad empresarial (*entrepreneurships*).

Esta última se relaciona con la flexibilidad empresarial y, por lo tanto, con opciones reales. En tercer lugar, se tiene el estudio de los métodos de valoración de la inversión pública y los sistemas nacionales de inversión pública, especialmente las metodologías de evaluación.

Lo anterior se traduce en un mapa de revisión de literatura, que se muestra en la figura 1, en la dirección que señala Creswell (2003). Las referencias que se colocan en cada campo principal constituyen los trabajos seminales de cada área de revisión. Los subcampos siguientes se completan con algunas citas bibliográficas de autores que son, a nuestro juicio, las más representativas para el presente trabajo.



Elaboración propia.

Figura 1. Mapa de literatura sobre opciones reales e inversiones públicas

Se entiende por flexibilidad a la capacidad de los agentes económicos de adaptar, acomodar o cambiar sus decisiones, en la medida que se va generando nueva información. Un trabajo completo sobre definiciones y tipologías de flexibilidad se encuentra en Guivernau (2005). La flexibilidad tiene dos dimensiones: i) una dimensión ex ante, es decir aquella donde es posible mapear antes de tomar decisiones específicas, acciones futuras condicionadas

a circunstancias precisas; y ii) una dimensión ex post³, que es posible ejercer sin que necesariamente las acciones hayan sido mapeadas anteriormente.

La capacidad empresarial o la flexibilidad de adaptarse al cambio, entendida como ex ante, se relaciona con el crecimiento económico, la eficiencia económica y el bienestar, por lo menos, mediante cuatro mecanismos de transmisión. Estos mecanismos se describen a continuación.

1.1. Capacidad empresarial, flexibilidad y crecimiento

Harrod (1939) y Domar (1946) sustentan sus modelos en los factores trabajo y capital, y tratan de explicar el crecimiento en el corto plazo con la desventaja de no permitir la sustitución entre factores. Solow (1956) y Swan (1956)⁴ asumen competencia perfecta, pleno empleo y un bien homogéneo destinado al consumo o inversión, y argumentan que las tasas de crecimiento están determinadas por la tasa de ahorro, la depreciación y la tasa de crecimiento de la población. Posteriormente, Phelps (1961) desarrolla “la regla de oro de acumulación de capital”, que indica que por medio de una determinada tasa de ahorro es posible maximizar tanto el consumo total como el per cápita. Sin embargo, estos modelos no permiten explicar el crecimiento de largo plazo en forma continua. Por ende, la intuición de que la inversión o acumulación de capital físico puede hacer crecer en forma continua a las economías, aún no tenía un sustento fundado.

No obstante, tomando como referencia el trabajo de Arrow (1962), Romer (1986) asume que existe una externalidad derivada de la inversión en capital asociada al *Learning by Doing*. Posteriormente, autores como Lucas (1988), Romer (1990), Barro (1990), Rebelo (1991) y Aghion y Howitt (1992), continuaron con la investigación del crecimiento mediante la aplicación del conocimiento como un factor que, al no tener rendimientos decrecientes⁵ (con propiedades de bien público, de ser no rival y no excluible), permite crecer indefinidamente en el tiempo. Esto significó introducir variables endógenas a la explicación tradicional del crecimiento económico.

El estudio del crecimiento endógeno está compuesto de dos generaciones. La primera se basa fundamentalmente en los “modelos tipo AK”, con una función de producción de rendimientos constantes a escala, que implica que si el *stock* de capital se duplica, también se duplica la producción. Así, la inversión es la acumulación del *stock* de capital que asegura un crecimiento continuo. Nótese que en esta versión se considera al capital tanto físico como humano. En esta

3 Para efecto de las propuestas que se presentan, esta segunda dimensión no será estudiada porque corresponde a una línea diferente de enfoque, el cual se relaciona, entre otras, con reglas y discrecionalidad (Kydland y Prescott, 1977; Barro, 1984; Barro y Gordon, 1983), comportamientos oportunistas (Williamson, 1985; Cordes et ál., 2006) y renegociación de contratos (Grossman y Hart, 1986; Hart, 1995).

4 Forman parte de los modelos de crecimiento llamados neoclásicos.

5 Las firmas usan el conocimiento en un período y luego este es utilizado como insumo en los períodos siguientes.

primera generación de modelos, el énfasis estaba puesto en la creación de nuevos productos para efectos del continuo crecimiento.

A diferencia de la primera generación de modelos de crecimiento endógeno, la segunda generación se preocupó de la calidad de los productos, regresando a las ideas "Schumpeterianas", en las cuales se mencionaba que el desarrollo de un producto de mejor calidad destruye al bien producido con una calidad inferior. Esta idea la retomaron Aghion y Howitt (1998), quienes muestran que tanto la investigación y el desarrollo como la innovación permiten rendimientos crecientes con competencia imperfecta, lo cual hace posible un crecimiento sostenible en el tiempo por un efecto derrame (*spillover*) en la economía.

Acs et ál. (2004) demuestran cómo el conocimiento es transformado en conocimiento económico, y su influencia en el crecimiento. Según los autores, en todo este proceso, la habilidad empresarial, donde uno de sus componentes importantes es la flexibilidad, entendida como la capacidad de los agentes económicos de adaptar dinámicamente sus decisiones, es el factor relevante para filtrar el conocimiento comercializable. Es decir, el conocimiento que es crecimiento continuo, que aumenta la riqueza y el bienestar de la sociedad⁶.

De esta manera, Acs et ál. (2004) refinan las recomendaciones de política de Lucas (1988), que daba mucha importancia a toda la línea de investigación y desarrollo pública y privada, mas no distinguía entre el conocimiento que podía ser "comercializable" (económico) y aquel "no comercializable" (no económico). Estas recomendaciones pretenden motivar la inversión en conocimiento económico, que se traduce en la apertura de nuevas firmas, que es la materialización directa de nuevo conocimiento y entrega valor al mismo.

La flexibilidad tiene un primer mecanismo de transmisión que puede ser modelada mediante un marco teórico de crecimiento endógeno, que incorporó el concepto de investigación y desarrollo como motor esencial del crecimiento, y en el que los países pueden aumentar su riqueza por la vía de las innovaciones. La habilidad empresarial, con uno de sus componentes que es la flexibilidad, va incorporando la información que se revela en los mercados diariamente y que se transforma en oportunidades de negocio. Al respecto, Guivernau (2005) señala que la literatura ha respondido preguntas tales como: ¿En que condiciones necesitará una empresa determinada flexibilidad?, ¿qué tipos de flexibilidad existen?, ¿cómo se implementan?, ¿qué relación existe entre flexibilidad y entorno?

Existen múltiples definiciones de capacidad empresarial. En la mayoría de ellas, la flexibilidad gerencial que existe en la sociedad subyace como un subcomponente importante. Por ejemplo, Hannafey (2003) la define como la capacidad de los agentes económicos para realizar nuevos trabajos,

6 Incluso, los autores mencionan que es más importante la habilidad empresarial que los recursos gastados en la creación de conocimiento para efectos de su impacto en el crecimiento económico.

administrar y gerenciar nuevos negocios, así como para responder al cambio. Por su parte, Foss y Klein (2005) definen la capacidad empresarial como un proceso de decisiones juicioso⁷ y distinguen entre empresarialidad como administración, como imaginación y creatividad, como innovación, como liderazgo carismático, como habilidad para juzgar y como estado de alerta para descubrir nuevas oportunidades. Otras definiciones se encuentran en Rothbard (1985), Morris (1988), Klein (1999) y Wennekers y Thurik (1999), entre otros autores.

De esta manera, el crecimiento económico se dará en la medida que una misma empresa, utilizando la flexibilidad de que dispone en ambientes de incertidumbre, “reaparezca” cada cierto tiempo con un nuevo proyecto que le otorgue valor a sus accionistas. En este sentido, Choi y Shepherd (2002) han denominado “períodos de luna de miel” al proceso empresarial de creación, salida y crecimiento, en un contexto de evolución ligada a una cadena de opciones reales.

Sin embargo, para que los empresarios puedan disfrutar de la “luna de miel” deben mitigar los riesgos y las incertidumbres asociados a las oportunidades que se les presentan, y maximizar los beneficios derivados del negocio. Es decir, en la medida que los empresarios logren mejorar su capacidad empresarial, mitigando los riesgos para garantizar el negocio en marcha, estarán asegurando al mismo tiempo un crecimiento económico sostenible.

De lo anterior se desprende que desde un punto de vista estrictamente conceptual, la flexibilidad también debe incorporarse y valorarse en las decisiones de inversión de los proyectos públicos. De la misma forma, por ejemplo, en el caso de los proyectos de transporte, donde el ahorro de tiempo se constituye en el principal beneficio social de un análisis costo-beneficio, la sociedad debe identificar, valorar y gestionar la flexibilidad que subyace o es posible generar en este tipo de proyectos.

En este sentido, los elementos relacionados con costos hundidos e irreversibilidad de las inversiones, y las decisiones de flexibilidad (de esperar para invertir) deben ser debidamente incorporados en la evaluación de inversiones públicas. En efecto, por lo general, las inversiones públicas, en particular las de infraestructura física, son irreversibles. Es decir, el sector público o ministerio responsable no puede desinvertir una vez que ha realizado la inversión o no puede recuperar una parte significativa de las inversiones realizadas, pues la mayoría de estas se convierte en costos hundidos. Lo anterior, evidentemente, también se aplica a una firma privada. Además, puede darse el caso de que las inversiones públicas se demoren o difieran, lo que le da al Gobierno la oportunidad de esperar por nueva información con relación a precios, costos y otras condiciones de mercado, antes de comprometer los recursos públicos. Cuando el sector público realiza una inversión irreversible, ejerce o elimina la opción de invertir. Es decir, no puede desinvertir si se

7 Entrepreneurship as judgement.

presentara el caso de que el valor del activo baje debido a condiciones adversas de mercado (Dixit y Pindyck, 1994).

1.2. Inversión en capital privado, flexibilidad y crecimiento

Un segundo mecanismo de transmisión se deriva de la relación directa que existe entre valoración de inversiones privadas y opciones reales. En la medida que las opciones reales⁸ son valoradas en función de la flexibilidad y a partir de la información que la naturaleza revelará en el futuro, y dado que la capacidad empresarial puede anticipar y mitigar sus efectos, la inversión privada se incrementará, aumentando el *stock* de capital de la economía, y permitirá los crecimientos económicos continuos explicados anteriormente. La aproximación de opciones reales y la evaluación privada de inversiones se desarrolla en la octava sección.

1.3. Completitud de mercados, flexibilidad y crecimiento

Un tercer mecanismo puede ser analizado desde la óptica de la teoría de los mercados completos (o incompletos). Al respecto, King y Levine (1993), mediante un estudio de corte transversal que utiliza información de 80 países para el período comprendido entre los años 1960 y 1989, demuestran que existe una correlación entre el “desarrollo” de los mercados de capitales y financieros y el crecimiento económico de largo plazo de los países, lo cual, además, tiene un efecto importante en la eficiencia en la asignación de recursos de una economía. Una medida utilizada para caracterizar el concepto de “desarrollo” de mercado de capitales es su nivel de profundidad y el grado de completitud, que se relacionan con la mayor transparencia, flexibilidad, dinamismo e incentivos a la implementación efectiva de una amplia gama de activos financieros de largo plazo.

Así, en un mercado de capitales que funciona adecuadamente, se genera que: i) se asigne correctamente la riqueza de los individuos, debido a la posibilidad de emitir y comprar activos –directa e indirectamente– mediante los intermediarios financieros en los mercados de contratación correspondientes; ii) se asignen recursos a las empresas, por la posibilidad de emitir activos financieros, pues estas son capaces de obtener capital de diversas fuentes y financiar proyectos de inversión; y iii) se ofrezca importante información mediante los precios de los activos financieros. De esta forma, los mercados de capitales permiten ofrecer flexibilidad en ajustar los riesgos de las inversiones con las preferencias y las opiniones de una enorme variedad de individuos, y, por lo tanto, generan un impacto importante en el bienestar social (Marín y Rubio, 2001).

⁸ Valorada, por ejemplo, mediante las técnicas que se usan en opciones financieras, que fueron popularizadas por los trabajos de Black y Scholes (1973), Merton (1973) y Cox, Ross y Rubinstein (1979).

Desde una perspectiva de fundamentos económicos, se considera que un mercado completo puede ser representado por los llamados activos contingentes, también conocidos como activos elementales, puros o primitivos, o activos Arrow-Debreu, en alusión a las contribuciones de Arrow (1964) y Debreu (1959). Los mercados, los contratos y las instituciones que funcionan en los mercados de capitales tratan de reproducir las estructuras de pagos que ofrecen estos activos. Un activo Arrow-Debreu se define como un activo que paga 1 al final del período, si un estado de la naturaleza ocurre y 0 (nada), si ocurre otro estado. Este concepto permite una descomposición lógica del mercado de activos financieros en portafolios de activos puros (Marín y Rubio, 2001; Copeland y Weston, 1999), así como la valoración de dichos activos contingentes.

Mediante la negociación de los activos Arrow-Debreu, se logra una flexibilización de las preferencias en los patrones de consumo deseados por los individuos en los distintos estados posibles de la naturaleza.

En general, cuanto mayor sea el número de activos disponibles en un mercado financiero, las tres funciones básicas atribuidas a dichos mercados, que se señalaron anteriormente, se desarrollarán de manera más eficaz. Si no existiesen los mercados de capitales, los inversionistas se verían obligados a consumir sus dotaciones, con todo lo negativo que esto supone para las funciones antes descritas. En el otro extremo se tiene el mercado formado por activos Arrow-Debreu, en el que se puede trasladar poder de compra en cualquier dirección, en términos bien definidos. Esto sería equivalente a tener tantos activos disponibles –los activos Arrow-Debreu– como estados de la naturaleza o, si se prefiere, tantos activos como contingencias futuras. En este caso extremo, se habla de mercados completos (Copeland y Weston, 1999).

Por otro lado, dentro del contexto de la teoría de las preferencia de estado (*State Preferences*) –que es una extensión de la teoría de equilibrio general a un contexto de incertidumbre (Arrow y Hahn, 1971), en donde los diversos bienes son reinterpretados como cantidades de consumo de cada uno bajo distintas circunstancias–, cuando el número de activos linealmente independientes es igual al número total de alternativas futuras de estados de la naturaleza, el mercado está completo (Hirshleifer, 1966; Eichberger y Harper, 1997). Un ejemplo muy simple de la caracterización anterior se encuentra en Copeland y Weston (1999).

Entonces, los activos de una economía con mercados completos son el instrumento para alcanzar la eficiencia en la asignación de recursos. La ausencia total o parcial de un recurso lleva a una asignación ineficiente en el sentido de Pareto. Al respecto, la agregación de nuevos activos en una economía con mercados incompletos se traduce en una mejora del bienestar de la sociedad. Sin embargo, es posible encontrar ejemplos escasos de situaciones en las cuales empeora el bienestar de algunos y no mejora el de nadie (Hart, 1975).

Es así que la flexibilidad de la economía, que puede ser materializada y escrita en contratos de opciones reales, completa mercados en el sentido de Arrow-Debreu. En este caso, lo importante es distinguir si dichos contratos producen más beneficios que distorsiones. Al respecto, si una opción real puede valorarse utilizando activos Arrow-Debreu y si dichos resultados coinciden con los de otros métodos explícitos de valoración, entonces, una opción real es candidata a completar mercados y eso es eficiencia para la economía. Por ejemplo, Baidya y Brandão (2000) comparan la valoración de una opción real de posponer una inversión usando activos Arrow-Debreu con otros métodos de valoración que se mencionan en la subsección 8.4. Los resultados obtenidos son absolutamente consistentes.

1.4. Capital de infraestructura pública, flexibilidad y crecimiento

Un cuarto mecanismo asume que si la flexibilidad está presente en la evaluación y el diseño de las inversiones de infraestructura pública, entonces, una forma directa de impacto en el crecimiento económico es la infraestructura pública. Si bien los economistas desde décadas atrás han sostenido que el *stock* de capital público es un insumo de gran importancia en la producción total de los países, dicha relación no comenzó a ser formalmente analizada hasta la realización de los trabajos de Aschauer (1989a, 1989b y 1989c). Estos tuvieron como objetivo el estudio de los efectos del declive de la inversión pública, a finales de la década de los años 1960, en la reducción de la productividad de los Estados Unidos y otros países desarrollados experimentado a partir de 1973.

En efecto, la variable más común para medir los impactos de la infraestructura pública es la productividad de los insumos. Así, un *stock* alto en capital público de infraestructura incrementa la productividad de otros insumos, tales como el trabajo y el *stock* privado de capital, lo que permite reducir los costos de producción (Cohen y Morrison, 2004).

Los trabajos de Aschauer mostraron que una buena parte del declive en la productividad estadounidense en los años 1970, podía ser atribuida a las tasas decrecientes de inversión pública agregada de capital⁹. Aschauer (1989a) fue el primero en establecer, de manera econométrica, la relación entre ambas variables. En su estudio, y en general en aquellos que le siguieron, la variable dependiente de la ecuación fue la producción en una área determinada; mientras que las variables independientes fueron el capital privado, la fuerza de trabajo, el capital público y una constante para el nivel de tecnología, como se expresa a continuación (Munnell, 1992):

$$Q = (MFP) * f(K, L, G)$$

9 En efecto, Aschauer estimó que un incremento del 1 por ciento en el *stock* de capital público incrementaría la producción nacional de los Estados Unidos en 0,34 puntos porcentuales.

Donde: Q es la producción, MFP es el nivel de tecnología, K es el *stock* de capital privado, L es la fuerza de trabajo y G es el *stock* de capital público.

Por lo general, bajo esta metodología se encuentra una relación positiva entre la disponibilidad de cierta infraestructura (específicamente telecomunicaciones, energía, caminos y acceso a agua potable) y el crecimiento del PIB per cápita.

Para ilustrar el efecto de la infraestructura en la productividad del capital privado y del trabajo, se asume una función de producción Cobb-Douglas:

$$Q = (G)^\alpha \times L^\beta \times (K)^{1-\alpha-\beta}; \quad \text{donde: } \alpha \text{ y } \beta \text{ se encuentran en el intervalo } (0, 1).$$

La productividad marginal del capital privado y del trabajo están dadas por:

$$PMK = (1 - \alpha - \beta) \times (G/K)^\alpha \times (L/K)^\beta$$

$$PML = \beta \times (G/K)^\alpha \times (K/L)^{1-\beta}$$

Se observa que un incremento en el capital público (relativo a capital privado) aumenta la productividad marginal de ambos insumos, tal como se muestra a continuación:

$$\frac{\partial PMK}{\partial (G/K)} = \alpha \times (1 - \alpha - \beta) \times (G/K)^{\alpha-1} \times (L/K)^\beta \quad (1)$$

$$\frac{\partial PML}{\partial (G/K)} = \alpha \times \beta \times (G/K)^{\alpha-1} \times (K/L)^{1-\beta} \quad (2)$$

En general, la infraestructura pública incrementa la productividad marginal de los insumos públicos. Lo anterior implica un aumento en la tasa de retorno y puede incrementar la demanda por activos físicos por parte del sector privado. En ese sentido, existe un efecto complementario de la infraestructura pública en la inversión privada. Por ejemplo, es muy probable que la tasa de rentabilidad estimada para la construcción de una fábrica sea más alta si el país ya ha invertido en generación de energía, en redes de telecomunicaciones y en transporte.

Sin embargo, una gran disponibilidad de capital público en infraestructura podría, en principio, reducir la demanda por insumos privados, como consecuencia de un efecto sustitución neto. No obstante, si los insumos privados son altamente complementarios, una alta disponibilidad de infraestructura incrementará la productividad marginal de los insumos privados y, por lo tanto, su demanda. La evidencia muestra que, a pesar de que la infraestructura pública y el capital físico privado tienen un alto grado de complementariedad, existe un pequeño efecto neto de sustitución (Agénor y Moreno-Dodson, 2006). El efecto complementario de la inversión pública en

infraestructura en la formación de capital privado ha sido ampliamente documentado en la literatura (véase Agénor, 2005).

Adicionalmente, un aumento en el capital público de infraestructura puede tener un efecto adverso en la actividad en el corto plazo, dado que la inversión pública desplaza a la inversión privada. Esto es conocido en la literatura como el efecto *crowding-out*. Este efecto puede tomar varias formas. Por ejemplo, si el sector público financia la expansión de capital público mediante un incremento de impuestos distorsionadores, la reducción en la tasa de retorno neta esperada del capital privado puede reducir la propensión a invertir. Si dicho financiamiento se realiza por medio de una emisión de deuda en el mercado financiero doméstico y la tasa de interés aumenta, entonces, se reduce la inversión privada. También se puede producir por un racionamiento del crédito al sector privado o por un cambio en las expectativas de inflación y de incrementos de la tasa de interés de largo plazo, si la expansión de infraestructura se realiza mediante deuda pública. Si bien los efectos del *crowding-out* son, en teoría, de corto plazo, estos se pueden extender por un período largo y generar efectos estructurales en el crecimiento de la economía (Ireland, 1994; Agénor y Yilmaz, 2006; Agénor y Moreno-Dodson, 2006).

Otros “nuevos” canales de los efectos indirectos de la inversión en infraestructura pública en el crecimiento económico se relacionan con la productividad del trabajo, la durabilidad del capital privado, la educación y la salud (Agénor y Moreno-Dodson, 2006). Aunque los estudios analíticos que se focalizan en los efectos del crecimiento de las inversiones en mantenimiento del capital público son escasos, en los últimos años se han realizado interesantes artículos de investigación sobre el tema. Entre ellos, destacan los de Rioja (2003), Kalaitzidakis y Kalyvitis (2004), Agénor (2005) y Agénor y Moreno-Dodson (2006). El trabajo más completo en esta materia proviene de Agénor (2005), quien utiliza un modelo de crecimiento endógeno en el que la inversión pública en mantenimiento no solamente incrementa la durabilidad del capital público, sino que eleva la eficiencia de la infraestructura. Además, discute los efectos de los gastos de mantenimiento por parte del sector público en el *stock* de capital privado.

La idea central es demostrar que el gasto en mantenimiento realizado por el sector público tiene un impacto en el bienestar. Por ejemplo, el mantenimiento de la calidad de los caminos públicos mejora la durabilidad de los camiones y otros medios de transporte usados por el sector privado para movilizar bienes, personas y trabajadores a lo largo de comunas, regiones y al interior del país. Agénor (2005) argumenta que el porcentaje de recursos asignados al mantenimiento de inversiones públicas por parte del sector público depende no solamente del efecto marginal en la categoría de gasto en la tasa de depreciación del capital público (como convencionalmente es asumido), sino también de la vinculación en mejorar la durabilidad del *stock* del capital privado. El hecho de no considerar este último efecto puede implicar que una asignación subóptima de recursos se convierta en nueva inversión en infraestructura.

Por el lado de la salud, las inversiones públicas en redes de acceso a sistemas sanitarios de agua potable y de alcantarillado, y en la construcción de hospitales y centros de atención pública, tienen un impacto directo en la salud, en especial de los niños, y en la reducción de la tasa de mortalidad (Brenneman y Kerf, 2002; Wagstaff y Claeson, 2004). Asimismo, el mejoramiento de los sistemas de energía y de acceso de transporte a los centros de salud genera una considerable mejoría de la salud de las personas, así como un impacto directo en la tasa de crecimiento de la economía (Agénor y Moreno-Dodson, 2006). Al respecto, una interesante aplicación es propuesta en Agénor y Moreno-Dodson (2006), quienes desarrollan la conexión entre salud e infraestructura pública mediante un marco de crecimiento endógeno. Amplia revisión de bibliografía sobre los impactos de la infraestructura pública y el crecimiento económico se encuentra en Munnell (1992), Gramlich (1994), Romp y De Haan (2005), Agénor y Moreno-Dodson (2006) y, recientemente, en De Haan et ál. (2007). Para América Latina, un estudio completo lo realizan Loayza, Fajnzylber y Calderón (2004), quienes concluyen que, además de las políticas relacionadas con la estabilidad macroeconómica y las políticas estructurales, en particular, la subpolítica de infraestructura ha tenido una importancia relevante en la explicación de la evolución de la tasa de crecimiento económico.

2. Análisis de costo-beneficio para la asignación de recursos a la inversión pública

Los recursos de la sociedad o de un país, por lo general, son escasos y las necesidades son múltiples. De esta forma, el planificador central o sector público, que representa a la sociedad, debe decidir entre diversas alternativas de inversión. Con el objetivo de apoyar esta toma de decisiones del sector público para maximizar el bienestar de la sociedad, se suele utilizar una técnica conocida como análisis de costo-beneficio.

Solow (1956), Arrow (1962), Phelps (1961), Romer (1986), Lucas (1988) y Barro (1990) relacionan directamente el crecimiento económico con el bienestar social, lo que corresponde a maximizar el producto o renta medido en términos per cápita. Sin duda, cada grupo social y cada país pueden tener objetivos adicionales¹⁰. Sin embargo, en términos académicos se acepta el hecho de que la maximización del bienestar social es compatible con los criterios de asignación de recursos conocidos como Pareto-Eficiente, que se constituyen en el fundamento conceptual para el análisis de costo-beneficio¹¹.

En este sentido, una asignación de bienes es Pareto-Eficiente, si no existe otra alternativa de asignación que pueda mejorar la posición de al menos un agente

10 El aspecto distributivo es importante para los países, mas la metodología asume que el Estado puede aplicar eficientemente políticas distributivas.

11 Adicionalmente, resultaría muy complicado evaluar políticas y priorizarlas considerando objetivos heterogéneos.

económico sin empeorar la posición de los demás agentes económicos. A su vez, una asignación de bienes es ineficiente, si es posible mejorar por lo menos a un agente económico sin empeorar a los demás agentes económicos.

De esta forma, el análisis de costo-beneficio o la maximización de los beneficios netos para la sociedad cumple con los postulados de la eficiencia paretiana, en la medida que se realicen proyectos que posean beneficios netos que permitan mejorar al menos a un agente o a un grupo de agentes económicos, sin empeorar la posición de los demás.

Es así que la evaluación socioeconómica de proyectos, por medio del análisis de costo-beneficio, analiza la contribución y el impacto que tiene para la sociedad en su conjunto la materialización de un proyecto de inversión pública. Es decir, se verifica si un proyecto genera o no un aumento de riqueza y, como consecuencia, su impacto en el crecimiento económico, cumpliendo con el criterio de eficiencia paretiana y, por ende, incrementando el bienestar de la sociedad.

Evidentemente, en la metodología para evaluar un proyecto de inversión pública se debe establecer la línea base del proyecto, desde la cual se considerarán los impactos pertinentes del proyecto en cuestión. En este caso, los impactos se medirán entre la situación sin proyecto y la situación con proyecto.

La comparación de beneficios y costos de los individuos de la sociedad lleva, necesariamente, al hecho de agregar las preferencias. Para ello, Bergson (1938) plantea que se debe asumir una función de bienestar social que pueda ordenar todas las preferencias de los individuos. Si es posible constituir preferencias completas y consistentes, se puede llegar a construir un orden del bienestar social. A su vez, si este orden social es continuo, puede formalizarse una función de bienestar social f , la cual depende de los niveles de utilidad de los agentes en cuestión. Por ejemplo, en el caso de una sociedad que consta de solo dos individuos, se tiene la función $f(U_1, U_2)$. Sin embargo, la forma funcional de una función de utilidad social no genera consenso entre los economistas, dado que no existe claridad entre las formas funcionales de los agentes económicos.

Al respecto, Samuelson (1947) plantea que la función de bienestar social no es la suma de las utilidades cardinales de cada uno de los individuos, sino que sigue la línea de Bergson (1938), en el sentido de apoyar el orden de las preferencias; es decir, el enfoque ordinal y no cardinal. Sin embargo, como estas funciones de utilidad son ordinales y no comparables, la única posibilidad de función de beneficio social consistente es una dictadura¹². Es decir, la función de beneficio social debe coincidir con la función de utilidad ordinal de

12 "Gobierno que, bajo condiciones excepcionales, prescinde de una parte, mayor o menor, del ordenamiento jurídico para ejercer la autoridad en un país" (Real Academia Española, 2007).

algunos individuos, independientemente de las preferencias de otros agentes. Por ejemplo, en el caso de una sociedad de dos individuos, debe utilizarse la función de utilidad del individuo 1 o bien la del individuo 2 para jerarquizar los estados sociales. Esta conclusión fue demostrada por Arrow (1951) y se le conoce como el Teorema de la Imposibilidad de Arrow. No obstante, ha surgido una importante literatura para contrarrestar las argumentaciones de Arrow, que ha sido bien sintetizada por Gowdy (2004).

La metodología costo-beneficio se apoya en los fundamentos teóricos de la economía moderna del bienestar, que sigue el principio de compensación propuesto por Kaldor (1939) y Hicks (1939). El principio de compensación establece que una decisión pública es óptima, si permite una generación de excedente de bienestar colectivo para compensar en el largo plazo a las partes que intervienen. La capacidad de ofrecer una compensación potencial es un criterio de decisión de política y de proyectos públicos. Para lograr un aumento en el bienestar neto de la población, se requiere que los ganadores de un proyecto o de una política pública compensen a los perdedores. En otras palabras, los beneficios sociales del mejoramiento de bienestar deben ser superiores a los costos sociales de pérdida de bienestar social. Este principio crea los métodos de evaluación y decisión de proyectos públicos, los que se articulan alrededor de dos ejes:

- i. Los métodos de revelación de preferencias, generalmente usados en el caso de que no haya un mercado explícito.
- ii. Los métodos de cálculo de excedentes, que se apoyan en una valoración monetaria de la utilidad y desutilidad del consumidor y, por lo general, son utilizados cuando existe un mercado preciso.

En los métodos de revelación, las preferencias individuales se consideran como la principal fuente de valor y se miden por la disposición a pagar en el caso de un beneficio; y por una disposición a recibir, si se trata de un perjuicio. Se parte del postulado que es posible construir una función de bienestar social donde el beneficio social corresponde a la suma de todos los beneficios individuales y el costo social es la suma de todos los costos sociales. El principio de compensación de Kaldor-Hicks señala que los beneficios sociales deben ser superiores a los costos. Una explicación detallada y actualizada de la metodología, se puede encontrar en Pearce, Atkinson y Mourato (2007).

La estimación del valor económico se realiza empleando el concepto de disposición a pagar, que representa la cantidad de dinero que un consumidor pagaría para incrementar su nivel de bienestar o impedir una pérdida del mismo en relación con el consumo de un bien público de infraestructura. Para medir el beneficio de un proyecto, para el que no existe un mercado directo, se utilizan dos metodologías: las preferencias reveladas y las preferencias declaradas –la aplicación de cuestionarios a los individuos para tratar de determinar la intensidad de sus preferencias– (De Rus, 2004). Una forma de aproximarse a la evaluación es por la aplicación del método de valoración

contingente (MVC), para el caso en el que no hay mercados específicos y/o en el que los derechos de propiedad sobre los activos no están definidos.

El MVC consiste en crear un mercado hipotético, artificial, o contingente y obtener, mediante una encuesta, la máxima disposición a pagar (DAP) en valor monetario que el entrevistado otorga al bien que se está valorando, o a una modificación en la calidad o cantidad del mismo, donde la oferta está representada por la persona que realiza la entrevista y la demanda por la persona entrevistada. La DAP es un valor que depende de características observables y no observables. Desde el punto de vista estadístico, es una variable aleatoria y, por lo tanto, para estimarla se pueden usar métodos estadísticos no paramétricos, paramétricos y/o semiparamétricos.

El MVC fue propuesto por Davis (1963), quien preguntó a los visitantes de un parque en Maine, Estados Unidos, el valor que para ellos tenían los bosques del parque. El método se aplica a una serie de sectores, como el de transporte, medioambiente, sanitario, salud, educación, cultura y, de manera reciente, al área de seguridad ciudadana. Una buena revisión de los sectores en donde este se aplica, se encuentra en Ortega y Barber (2003).

El marco teórico básico del MVC considera a un individuo o a un hogar que tiene una función de utilidad, U , que depende de un vector de bienes disponibles en el mercado privado (X) y del nivel de un bien o servicio público (q). Es decir, $U^i = f(X, q)$.

En este enfoque se asume que los individuos minimizan los gastos privados $P \cdot X$, sujeto a que $U = U^*(X, q)$, determinando en consecuencia una función de gastos $e = e(P, q_0, U^*)$, donde q_0 es el nivel actual del bien público. La pregunta que se realiza a los encuestados es sobre su disposición a pagar (DAP) por un cambio de la cantidad del bien –de q_0 a q_1 –, lo que queda definido como: $DAP(q) = e(P, q_0, U^*) - e(P, q_1, U^*)$.

La DAP se puede obtener de diferentes maneras: mediante la elaboración de formatos de preguntas abiertas y cerradas, en el que se considera un nivel de bienestar constante. La función de valoración se puede estimar por una regresión directa, utilizando las respuestas de los encuestados, con sus características demográficas y socioeconómicas por medio de un vector (SE) – por ejemplo, el ingreso, la edad, el sexo, la educación–, incluyendo las variaciones en q_1 o q_0 y los mecanismos de pago por el aumento del bien público o por la presencia de este en el mercado. La forma funcional de la estimación se muestra a continuación:

$$DAP = \beta \times SE + \delta \times Q + \varepsilon$$

Donde: Q es un vector de las características del cuestionario, β y δ son vectores de coeficientes de regresión, y ε es un término de error. La variable

DAP generalmente tiene una representación dicotómica del tipo SÍ o NO, con valores 1 ó 0 frente a la pregunta: ¿Usted estaría dispuesto a pagar o recibir una compensación igual a W ? Esto se modela por medio de: $\Pr(SI) = \Pr(DAP + \varepsilon > W)$. Las respuestas de la DAP se regresionan con la constante, W , SE y Q . Finalmente, se señala que el método dicotómico de valoración contingente constituye el experimento de elección más sencillo posible, en el cual solo existen dos atributos: uno con dos niveles (con política y sin política) y otro con varios niveles (el precio) (Hanemann, 1984)¹³.

En función de los modelos anteriores, se determina la probabilidad –es decir, el porcentaje de personas que están dispuestas a pagar un precio determinado por consumir una cantidad específica del bien público– mediante la cual se construye una función de demanda por el bien público de infraestructura.

La evaluación social de proyectos tiene una historia bastante larga, especialmente en Francia, en donde, en el año 1844, se dio a conocer el trabajo clásico de Dupuis sobre la utilidad de las obras públicas. Luego, le siguen los trabajos de Launhardt¹⁴ y Marshall en 1890 y 1920, respectivamente, con la idea del excedente del consumidor. Posteriormente, Little y Mirrlees (1969) establecen formalmente el análisis costo-beneficio, que es continuado por Dasgupta, Marglin y Sen (1972), Habberger (1973) y Squire y Van der Tak (1975). En América Latina, un referente importante para la enseñanza formal de evaluación socioeconómica de proyectos ha sido el trabajo desarrollado por Fontaine (1973).

Una de las primeras aplicaciones de la metodología de evaluación social proviene de la Ley de Navegación Federal de 1936, en los Estados Unidos, donde se obligaba a que el Cuerpo de Ingenieros de los Estados Unidos ejecutara los proyectos de mejoramiento del sistema de vías fluviales, siempre que los beneficios totales del proyecto fueran superiores a sus costos.

Se recomienda el uso del análisis costo-beneficio en el análisis formal de la evaluación de proyectos y programas públicos. En términos de principios económicos, el criterio es el Valor Actual Neto Social (VANS); es decir, la diferencia entre los beneficios y los costos económicos sociales generados por un proyecto de inversión pública.

El VANS es calculado asignando valores monetarios a los beneficios y los costos, descontándolos con una apropiada tasa de descuento. Este descuento de beneficios y costos transforma las ganancias y las pérdidas que ocurren en diferentes períodos a un momento único de medición. Aquellos proyectos que muestran un valor actual neto positivo incrementan el valor social de los recursos y, por lo general, son los preferidos. En cambio, en función del criterio

13 La validez del método fue definitivamente constatada por los Premios Nobel Arrow y Solow en 1993, cuando fueron convocados para formar un panel de expertos por parte de National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA).

14 Citado en Backhaus (2000).

de racionalidad económica, los proyectos con un valor actual neto negativo deberían evitarse.

Por lo tanto, el VANS se constituye en el indicador por excelencia para el análisis costo-beneficio, cuya expresión es igual a la del valor actual neto privado que se usa extensivamente en decisiones de presupuesto de capital. La expresión analítica del VANS es la siguiente:

$$VANS = -I_0 + \sum_{t=1}^T \frac{[BS_t - CS_t]}{(1+r_s)^t} + \sum_{t=1}^T \frac{[EI_t]}{(1+r_s)^t}$$

Donde: I es la inversión inicial necesaria para la materialización del proyecto, BS es el flujo de beneficios sociales directos, CS es el flujo de costos sociales directos, T es el horizonte temporal del proyecto, r_s es la tasa de descuento social y EI son los efectos indirectos del proyectos, generalmente externalidades positivas o negativas de difícil cuantificación. La regla indica que si el $VANS > 0$, es aconsejable realizar el proyecto. Por el contrario, si el $VANS$ es negativo, no sería aconsejable realizar el proyecto.

La figura 2 muestra un ejemplo de un proyecto productivo, en el cual se valoriza socialmente la producción y el costo social de los recursos. No se incluyen los efectos indirectos netos como externalidades o se asumen que estas son iguales a cero. El proyecto permite aumentar la oferta del bien X desde S_0 a S_1 .

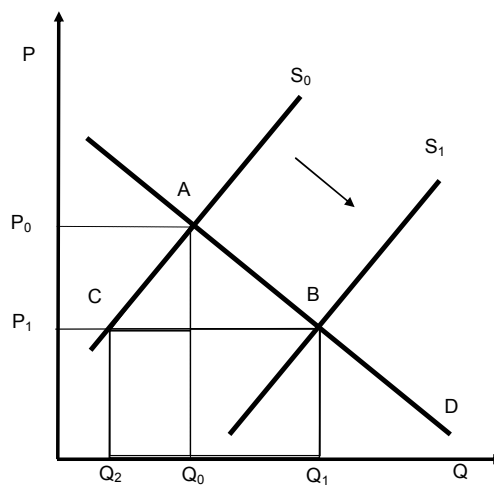


Figura 2. Ejemplo de un proyecto productivo

El beneficio social puede tener dos componentes: i) el beneficio social por un aumento en la disponibilidad de bienes o mayor consumo, determinado por el área ABQ_0Q_1 ; y ii) el beneficio social por la liberación de recursos, determinado por el área ACQ_2Q_0 .

El beneficio privado es simplemente el ingreso del productor por la venta del bien en el mercado. Es decir, el precio del bien multiplicado por la cantidad adicional: área CBQ_2Q_1 de la figura 3.

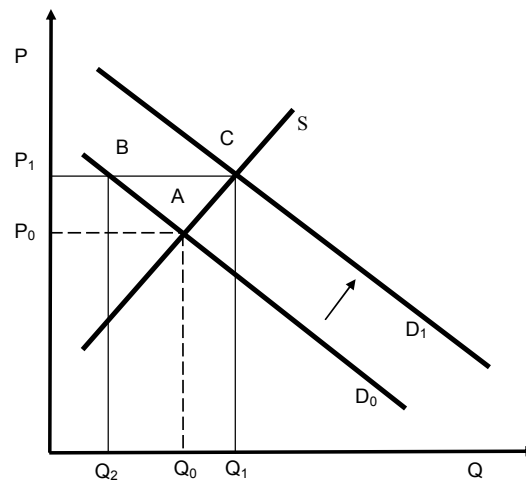


Figura 3. Beneficio privado y costo social de un proyecto productivo

Por el lado del costo social de los recursos para la producción del bien X, la demanda de los insumos aumenta de D_0 a D_1 , tal como se puede apreciar en la figura 3. El costo social tiene dos componentes: i) el costo social de aumentar la producción del recurso, determinado por el área ACQ_0Q_1 ; y ii) el costo social por la menor disponibilidad del recurso para otros productores, determinado por el área ABQ_2Q_0 . El costo privado representa el costo del recurso en el mercado; es decir, el área BCQ_2Q_1 .

Un segundo criterio, usado principalmente para proyectos y programas sociales (por ejemplo, inversiones en educación y salud), es la técnica de costo-eficiencia (*Cost-effectiveness analysis*), la que resulta apropiada cuando los beneficios de diferentes alternativas son los mismos o cuando existe dificultad en traducir algunos costos y beneficios en términos monetarios. El análisis costo-eficiencia se sustenta en la premisa que el valor actual de los beneficios sociales (VABS) generados por un proyecto es superior al valor actual de su flujo de costos sociales (VACS), por lo que el valor actual neto social (VANS) del proyecto siempre es positivo.

Es importante señalar que la evaluación de inversión y programas públicos no se realiza desde la óptica del organismo gubernamental ni municipal en particular, ni tampoco desde el sector público en general, sino de la sociedad en su conjunto.

Al respecto, cabe destacar la definición de la Oficina de Administración y Presupuesto de los Estados Unidos:

Los beneficios netos sociales, y no los beneficios y costos desde el punto de vista del Gobierno Federal, deben ser las bases para la evaluación de los

programas o políticas gubernamentales que tienen efectos sobre los ciudadanos privados u otros niveles de Gobierno (The White House, 1994: 5)¹⁵.

En este sentido, tanto la técnica de análisis como la decisión de qué proyectos ejecutar deben ser aplicadas con mucha racionalidad y eficiencia, debido a la existencia de costos alternativos de los recursos y la irreversibilidad de las inversiones. Además, el equipo que realiza el análisis debe incorporar la mayor cantidad de información disponible del proyecto y realizar su reevaluación en el tiempo, en función de la nueva información que la naturaleza incorpora al sistema.

3. Análisis de costo-beneficio y análisis de decisiones de inversión privada

La metodología de evaluación socioeconómica de proyectos utiliza los fundamentos de la evaluación privada de proyectos que, a diferencia de una evaluación social, prescinde del objetivo de la sociedad y se realiza desde la perspectiva de los inversionistas del proyecto, en lugar de todos los miembros de la comunidad en su conjunto¹⁶.

La metodología más utilizada para la evaluación privada es el Valor Actual Neto (VAN), que establece el valor económico o riqueza que el proyecto aporta a sus patrocinadores. Una vez calculados los ingresos netos del proyecto y descontados a una tasa determinada, entonces, si el valor del VAN es positivo, el proyecto incrementará la riqueza de los inversionistas. En cambio, si el VAN es negativo, la recomendación es no realizar el proyecto, pues su implementación podría reducir valor a los inversionistas.

En contraste, la evaluación social de proyectos estima los costos y los beneficios de un proyecto o programa específico, de manera tal que recomienda su ejecución cuando eleva el bienestar de la sociedad como un todo. Esta metodología permite también realizar comparaciones entre proyectos, en función de sus estimaciones monetarias, y elegir aquellas alternativas en las cuales la sociedad mejora. Esto suele ocurrir cuando en un contexto costo-beneficio, el VAN es positivo.

Es necesario indicar que la intervención del sector público en la economía se justifica, normalmente, por la presencia de fallas de mercado como: (i) la existencia de bienes públicos, donde la coordinación de los agentes económicos es difícil y la declaración de preferencia de los individuos es imperfecta (Lindahl, 1958; Buchanan, 1965; Cornes y Sandler, 1986); (ii) la presencia de uno o unos pocos oferentes o demandantes que predominan en

15 Traducción del autor.

16 Aunque en algunos casos, y principalmente en los últimos años, las empresas se encuentran internalizando la responsabilidad social, en especial en el área ambiental.

el mercado, lo que hace relativamente fácil la extracción de rentas (Baumol; Panzar y Willig, 1982; Laffont y Tirole, 1993); (iii) la presencia de información asimétrica en los mercados (Ross, 1973), problemas de agencia (Jensen y Meckling, 1976) y costos de transacción (Williamson, 1985); y (iv) la presencia de externalidades derivadas de la producción de un bien o servicio, con la consecuente generación de un menor consumo de bienes meritorios o bien una alta producción de externalidades negativas que afectan a la sociedad (Pigou, 1920; Coase, 1960). Lo anterior se hace más evidente en el área de infraestructura pública, lo que justifica y promueve que el Gobierno se involucre en su desarrollo. Infraestructura significa “debajo” (infra) del “edificio” (estructura). Por ello, es usual que englobe servicios que están *underground*, tales como sistemas de agua y alcantarillado, o que se apoyen en la superficie, como carreteras y ferrocarriles (Gómez-Ibáñez, 2003).

Con el objetivo de alcanzar niveles superiores de crecimiento económico, el sector público se organiza de múltiples maneras. En algunos casos, coloca el énfasis en la actividad productiva y, en otros casos, se concentra en la actividad regulatoria, para promover la participación privada en forma total (como en las privatizaciones) o parcial (como en las concesiones o asociaciones público-privadas) en infraestructura.

La actividad productiva del sector público debe evitar la generación de *crowding-out* con el sector privado. En el caso de que suceda, no se estarían alcanzando niveles de crecimiento económico potenciales.

En la medida que las empresas u organismos públicos no sean lo suficientemente dinámicos para captar la información relevante e incierta de los mercados, internalizarla y adaptarse a los cambios con cierta rapidez, el aporte a la creación de valor y al crecimiento económico, en la perspectiva señalada en la sección anterior, será subóptimo.

Como se ha mencionado, se utiliza la evaluación social de proyectos cuando el mercado falla y se presentan bienes públicos sin mercado o mercados con distorsiones de demanda, oferta o con impuestos y/o subsidios.

Sin embargo, esta simplificación, “tradicionalmente aceptada”, se puede traducir en que muchos aspectos importantes, que pueden impactar el bienestar social, no sean capturados totalmente, con la consiguiente subestimación de costos o beneficios.

La evaluación social de proyectos está basada en el supuesto microeconómico que señala que toda transacción de un bien o servicio que una persona realiza en el mercado a un determinado precio, implica un aumento del bienestar de ese agente económico¹⁷. De esta manera, se entiende que si, por ejemplo, el precio al cual fue transado ese bien fue de α dólares, entonces, esa persona está dispuesta a pagar al menos α dólares por el bien. La teoría implícitamente

17 Aunque ese bien o servicio no sea meritorio.

asume que la alternativa elegida es al menos tan buena como las alternativas que no son escogidas, utilizando la noción de costo de oportunidad y excedente del consumidor, donde la disposición a pagar es al menos igual al precio¹⁸.

De esta manera, se interpreta que la alternativa escogida en el mercado por los agentes económicos al precio de mercado revela que el bien comprado es tan beneficioso como el dinero destinado al bien. Por otra parte, los usuarios incrementarán la compra del servicio hasta que el beneficio marginal de la unidad adicional sea igual al costo marginal de esa unidad o precio de mercado. En términos del beneficio social neto, tenemos que:

*Beneficio social neto = Beneficios sociales netos por efectos directos + Efectos netos de externalidades o efectos indirectos*¹⁹.

Es factible demostrar que existe una relación explícita entre la evaluación privada y la evaluación socioeconómica de proyectos. Al comparar los resultados obtenidos con ambas metodologías y asumir que no existen externalidades, entonces, el beneficio social neto de un proyecto deberá ser al menos igual a la rentabilidad privada del proyecto. Es decir, si un proyecto es rentable en términos privados, necesariamente, deberá ser socialmente rentable.

Claramente, la evaluación social se preocupa por el bienestar de la comunidad y la evaluación privada, por la riqueza adicional que pueden obtener los inversionistas por un proyecto determinado. En la evaluación social también se consideran las medidas de las externalidades y los intangibles como factores importantes para el desarrollo del proyecto.

En el caso de la evaluación social, los precios se contemplan a precios sociales y la tasa de descuento también. En el caso de la evaluación privada, se trabaja con los precios de mercado y con la tasa de descuento del costo de oportunidad del dinero.

En conclusión, si bien la evaluación social o análisis costo-beneficio sigue la misma lógica de comparación de costos y beneficios en valor actual que la evaluación privada, utiliza precios de bienes e insumos corregidos por eventuales distorsiones de mercado, que sería posible encontrar alguna de las siguientes cuatro alternativas para un mismo proyecto: i) VANS positivo y VAN privado positivo, ii) VANS positivo y VAN privado negativo, iii) VANS negativo y VAN privado positivo, y iv) VANS negativo y VAN privado negativo.

18 Sin embargo, no siempre lo pagado efectivamente es igual a la disposición a pagar de los usuarios.

19 Por simplicidad, se indica que los efectos intangibles siempre estarán presentes. Sin embargo, su incorporación escapa a la técnica de evaluación. Además, siempre se pueden encontrar beneficios o costos intangibles netos que hagan viable o inviable un proyecto, a pesar del resultado de la suma de los beneficios netos directos y los indirectos.

4. La incertidumbre y el riesgo

La mayoría de proyectos que se emprenden, tanto por parte del sector privado como del sector público, están sujetos a la incertidumbre y el riesgo. Además, por lo general, se asume que los agentes económicos son adversos al riesgo, razón por la cual exigen una compensación por llevar adelante un proyecto de mayor nivel de riesgo. Es decir, para un proyecto más riesgoso, y con el objetivo de mitigar la probabilidad de ocurrencia de una pérdida, los promotores del proyecto exigen tasas de rentabilidad superiores. Esta idea reconoce que la incertidumbre y el riesgo son un costo. La diferencia entre riesgo e incertidumbre es la siguiente: en el caso del riesgo, aunque los beneficios y los costos no son conocidos con certeza, sí se conocen las distribuciones de probabilidades. En el caso de la incertidumbre, se ignora completamente la distribución de probabilidad y, en consecuencia, la variable sujeta de análisis puede tomar cualquier valor (Mun, 2006).

La buena noticia es que existen técnicas para predecir y también mitigar las probables pérdidas; incluso, con adecuadas coberturas, estas podrían convertirse en potenciales ganancias. Es así que en el ámbito privado, el manejo y la administración del riesgo consideran diversas técnicas para calcular un nivel de rentabilidad esperado. La primera de estas técnicas ha sido por medio de la tasa de descuento, donde se incluye una prima por riesgo que castiga el proyecto más riesgoso, reduciendo su rentabilidad esperada a medida que se incrementa el riesgo controlado vía tasa de descuento. El trabajo seminal en esta materia es el modelo de valorización de activos de capital (CAPM, por sus siglas en inglés) desarrollado por Sharpe (1964) y por Lintner (1965).

Otra alternativa ha sido calcular los valores esperados de los ingresos y los costos, de forma tal de descontar este flujo esperado a la tasa de descuento libre de riesgo. Estas técnicas siempre asumen que la empresa puede tomar un seguro para tener una rentabilidad acorde a un “equivalente cierto” con seguro, que normalmente es inferior a la rentabilidad esperada. Sin embargo, deja indiferente a la empresa en cuanto a realizar un proyecto o recibir la rentabilidad acorde al equivalente cierto.

Robichek y Myers (1966) discutieron, por primera vez, la relación entre equivalente cierto (*certainty-equivalent*) y la tasa de descuento ajustada por riesgo para el caso de un período. Por su parte, Bogue y Roll (1974) propusieron y desarrollaron el caso para flujos de caja multiperíodo.

El análisis de riesgos e incertidumbre también se ha incorporado al análisis de costo-beneficio en el ámbito público, ya que se ha reconocido que el riesgo impone un costo para la sociedad. Sin embargo, no existe consenso en la aplicación de una técnica para la incorporación del riesgo en el análisis costo-beneficio. Es así, por ejemplo, que se encuentran argumentos como que el sector público debería usar una tasa de descuento ajustada por riesgo.

De lo contrario, si usa la tasa libre de riesgo, el sector público realizaría una mayor inversión, lo cual generaría distorsiones en la asignación de recursos y una mayor ineficiencia.

La tasa a la cual la autoridad debe descontar un proyecto de inversión pública es materia de controversia desde la década de 1960. Por una parte, autores como Hirshleifer (1966) argumentaban que la tasa pública debe ser igual a la privada para evitar que la inversión pública desplace ineficientemente a la privada; así como, que el Estado no está obligado a diversificar, sino que puede ser selectivo en los proyectos que emprende. La diversificación misma puede no ser deseable. En consecuencia, Hirshleifer (1966) plantea que los proyectos deben ser evaluados separadamente. Si se usa una tasa menor para proyectos de inversión pública, es posible que estos desplacen proyectos de inversión privada con mayores retornos esperados. Incluso, en el caso de que la diversificación es efectiva y deseable, no corresponde evaluar con distintas tasas sino transferir las ventajas de la diversificación a los privados vía subsidios, de manera de no distorsionar la elección de los proyectos que se ejecutan.

Por otra parte, Samuelson (1964) y Vickrey (1964) argumentan que el Estado debe descontar a una tasa menor por su mayor capacidad para diversificar el riesgo de sus inversiones. Arrow y Lind (1970) coinciden en que el Estado debe descontar a una tasa menor que un privado, porque el Estado distribuye el riesgo de un proyecto específico entre muchos individuos, de manera que el total de las primas por riesgo converge a cero. Por lo tanto, en ausencia de distorsiones, la tasa por utilizar debiera ser la tasa libre de riesgo. Es así como Arrow y Lind (1970) se inclinan por recomendar que el sector público maximice el valor actual neto esperado o retorno esperado, pues asumen que los resultados del proyecto, prácticamente, no afectan las rentas de los agentes económicos porque se distribuyen entre una gran cantidad de individuos y, por ello, el riesgo no importa. Una buena revisión de literatura sobre las implicancias de la incertidumbre en inversiones públicas se encuentra en Anderson (1989).

Si bien la discusión de la década de los años 1960 y 1970 pareció relativamente zanjada a favor de diferenciar las tasas pública y privada, el tema hoy es más relevante por el surgimiento de múltiples formas de asociación público-privada. El estudio de estas asociaciones ha dado un nuevo impulso al tema (Grout, 2002; Young, 2002).

Un análisis interesante y pertinente para el presente trabajo, que se ha incorporado para mejorar el manejo de riesgos, es el análisis de alternativas, en el cual se pregunta si es posible modelar alternativas de análisis o es la única alternativa posible. En esta línea se tienen dos enfoques: el análisis de decisiones secuenciales y el de inversiones irreversibles.

En el caso del análisis de decisiones secuenciales, es posible, por ejemplo, subdividir el proyecto de manera tal que se puede utilizar información generada

en una etapa anterior, para luego tomar una decisión respecto de la decisión de inversión en el período siguiente.

En tanto en lo que respecta al enfoque de inversiones irreversibles, este plantea que adicionalmente a responder la pregunta de si es beneficioso o no abordar un proyecto, también se podría responder cuándo abordarlo, de manera tal que, por ejemplo, esperar un tiempo para su realización podría ser óptimo para poder reducir la incertidumbre a un costo menor o sin costo. Al respecto, Arrow y Fisher (1974) definen una inversión irreversible como aquella que es infinitamente costosa revertirla. Por lo tanto, la incertidumbre y la irreversibilidad se encuentran relacionadas de manera directa. En este contexto, definen una cuasi-opción como el valor de la información relacionada con una decisión que tiene consecuencias irreversibles, aplicándola al caso comparativo si conviene desarrollar o preservar recursos naturales. En otras palabras, bajo un enfoque costo-beneficio, sí resulta conveniente esperar que se revele nueva información antes de emprender una inversión irreversible. Por su parte, Boardman et ál. (2001) sostienen que en juegos contra la naturaleza, el valor de la información es importante. Asimismo, valoran las cuasi-opciones en un contexto en el cual, por ejemplo, retrasar inversiones irreversibles, con el fin de tener más tiempo para recoger información adicional o que se revele información en el futuro, posee un valor porque permite contar con diferentes decisiones óptimas.

De esta manera, una cuasi-opción es relevante en la medida que se cumplan al menos tres condiciones: (i) que la inversión sea irreversible; es decir, involucra grandes costos iniciales que no pueden ser recuperados si el proyecto es abandonado; (ii) que la inversión pueda ser postergada; y (iii) finalmente, que la información derivada de la postergación del proyecto pueda ser revelada durante el período de postergación de la inversión.

Pearce et ál. (2007) plantean que el concepto de cuasi-opción aplicado en proyectos medioambientales, propuesto por Arrow y Fisher (1974) y Henry (1974), es el mismo que se utiliza en la literatura financiera como opción real, en la línea de Dixit y Pindyck (1994). Por su parte, Fisher (2000) argumenta que estos dos conceptos –valor de una cuasi-opción y valor de una opción real– son equivalentes y se refieren a una situación donde la incertidumbre y la irreversibilidad se combinan para tomar la decisión de retrasar una inversión, con el fin de aprender de la nueva información que es revelada durante el período de rezago de la inversión. Lo anterior, bajo el entendido de que el valor de las cuasi-opciones incorpora el costo de oportunidad de la espera en la decisión que se está tomando hoy.

Sin embargo, la implicancia más importante para el presente estudio es que, según Pearce et ál. (2007), una cuasi-opción no es un componente de valor económico y refuerzan la idea anterior citando a Freeman (p. 153):

El valor de la cuasi-opción es un componente del valor agregado por los individuos a las variaciones registradas por los recursos. Suponiendo incluso que

las funciones de utilidad los individuos sean conocidas, el valor de la cuasi-opción no podría ser estimado separadamente e integrado en la ecuación de costo-beneficio. El valor de la cuasi-opción corresponde a los beneficios generados por la adopción de un método más preciso de decisión que va incorporando y procesando nueva información por el retraso intencionado de compromiso de recursos irreversibles. Para un tomador de decisiones que conoce el uso de una estrategia óptima de decisión secuencial, no parece razonable que calcule el valor de la cuasi-opción. El cálculo podría ser redundante debido a que la mejor decisión es ya conocida²⁰.

Una línea diferente a las aproximaciones anteriores, por ejemplo Graham (1981), trata de abordar el riesgo y la incertidumbre a partir de los resultados estáticos del análisis que ha intentado corregir la medida de la disposición a pagar de los agentes económicos cuando ellos enfrentan incertidumbre, ya sea del componente demanda u oferta²¹.

En este sentido, la idea es conocer ex ante, en un contexto de riesgo, la suma que los agentes económicos afectados por una política estarían dispuestos a pagar por el desarrollo de esta. En estricto rigor, el precio de la opción es el equivalente cierto de una lotería y, en circunstancias de incertidumbre, puede ser mayor o menor al valor del excedente social esperado.

Ahora, si la política bajo consideración genera costos que son ciertos y completos y los agentes económicos pueden comprar suficiente cobertura de seguros contra el riesgo, entonces, el precio de la opción es la medida correcta de los beneficios porque permite comparar las disposiciones a pagar ciertas con los costos ciertos (Boardman et ál., 2001).

5. Virtudes y defectos del análisis costo-beneficio

Esta sección complementa la sección 3, donde se presentó la metodología del análisis costo-beneficio y algunos de sus problemas, especialmente en lo relacionado con el teorema de imposibilidad de Arrow y con la situación del excedente en contextos de equilibrios en mercados parciales y no necesariamente generales. A pesar de las desventajas, sus virtudes son importantes y su uso se ha extendido en el tiempo. Sin embargo, como señalan Nash (1993) y Kornai (1979), no resulta evidente que este análisis reemplace totalmente la evaluación subjetiva del proyecto por parte de los implementadores²².

20 Traducción del autor.

21 Para una mayor profundización, véase Graham (1981).

22 Muchas veces, la evaluación subjetiva tiene que ver con el carácter estratégico de las inversiones, que es una tipología central del análisis de opciones reales, tal como se verá más adelante.

No se discute el uso del análisis costo-beneficio en los casos de evaluación de proyectos de empresas públicas o de aquellos proyectos de inversión pública que involucran participación privada. Las mayores críticas surgen cuando se aplica la metodología a proyectos de servicios sociales y a aquellos en los cuales se utilizan metodologías subjetivas para la cuantificación monetaria de los beneficios de la sociedad, como el tiempo de los usuarios o proyectos de infraestructura de transportes, por ejemplo.

En este contexto, es particularmente problemático el uso del concepto de mejoramiento paretiano como una de las herramientas para evaluar políticas, programas y proyectos alternativos de medioambiente. En primer lugar, resulta teóricamente difícil usar el criterio de compensación de Kaldor-Hicks para establecer situaciones Pareto superiores, y, en segundo lugar, resulta difícil el uso empírico del análisis costo-beneficio mediante cuestionarios donde los individuos declaren sus preferencias en políticas medioambientales (Gowdy, 2004).

Asimismo, en la década de los 1990, Devarajan, Squire y Suthiwart-Narueput (1997) plantearon la discusión acerca de la verdadera utilidad del análisis costo-beneficio en el sentido de que, a partir de esta metodología, se puede establecer un beneficio neto social. Sin embargo, nada indicaba si el proyecto debería ejecutarlo el sector público o privado, en un contexto en el cual se ha visto una ola privatizadora y una menor intervención pública en el mundo. Frente a esta situación, los autores proponen que el escenario base de comparación sería el que hubiese proveído el sector privado sin el desarrollo del proyecto.

En este sentido, los autores se inclinan por recomendar a las autoridades del sector público no intervenir en aquellos proyectos que pudieran ser abordados por el sector privado. En el caso de que se produzca la participación del sector público, se debe ser cuidadoso y mitigar los efectos *crowding-out* de la inversión privada.

Adicionalmente, Squire (1989) sostiene que los costos de financiar los subsidios en los proyectos emprendidos por el sector privado deben ser evaluados con precisión, pues afectan el presupuesto fiscal y generan distorsiones en la recaudación tributaria. De lo contrario, se estarán sobreestimando los beneficios sociales.

Ante todas estas críticas al análisis costo-beneficio, Habegger (1997) argumentó que si el perfil de los flujos de dos proyectos es similar, sus resultados deben ser idénticos, independientemente de quién realice el proyecto. Por otra parte, en lo que respecta al costo de los fondos públicos, señaló que estos están totalmente considerados por los precios sociales o "sombra", que capturan la convención de que el sector público toma préstamos

del mercado de capitales para abordar sus proyectos²³. Otras desventajas son las siguientes:

- La evaluación social no es apropiada para aquellos bienes públicos, servicios públicos o servicios sociales que no tienen la posibilidad de ser intercambiados en el mercado, pues la estimación de satisfacción de las preferencias no se puede cuantificar con precisión. Cabe destacar que el error de cálculo²⁴ de la evaluación social en forma acumulativa se reducirá en la medida que una mayor cantidad de mercados sean privatizados o concesionados.
- La evaluación social, a pesar de que considera la necesidad de introducir el riesgo como un factor importante, normalmente no lo hace. En especial, es preponderante en países en desarrollo, favoreciendo proyectos en los cuales se conoce con cierta exactitud la demanda en el corto plazo por el fenómeno de la existencia de un déficit de oferta, atrasando proyectos de carácter innovativo o con un sesgo negativo hacia la innovación, dado su alto nivel de riesgo o volatilidad de demanda y precio.
- La evaluación social genera sesgos hacia proyectos que ahorran costos, porque no considera la variable calidad de manera explícita.
- La evaluación social asume que los beneficios y los costos asociados al proyecto se determinan en mercados específicos, es decir, en equilibrio parcial. No habiendo análisis de efectos en equilibrio general sobre la balanza de pagos, los niveles generales de precios y los precios relativos, el empleo, la distribución del ingreso entre personas, entre regiones, entre otros.
- La evaluación social también se sesga hacia proyectos que aumentan la cantidad transada basada en una situación base con déficit de oferta, producida por exceso de demanda. Esta situación presenta una mayor probabilidad de cumplirse en aquellas áreas o lugares en los cuales la cantidad de habitantes es mayor.
- Muchas evaluaciones sociales siguen considerando los análisis de sensibilidad para incorporar la incertidumbre. Sin embargo, Belli (1996) indica que las debilidades de los análisis de sensibilidad son: comúnmente no consideran las probabilidades de la ocurrencia de los escenarios ni toman en cuenta las correlaciones entre las variables cuando solo se modifica una de ellas, bajo el supuesto de independencia con todas las demás. En este sentido, Belli (1996) señala que el análisis

23 En los últimos años, se ha observado la tendencia a reducir la tasa de descuento utilizada para medir el costo de oportunidad del dinero público. En el caso de Inglaterra, el Green Book titulado *Appraisal and Evaluation in Central Government*, publicado en enero de 2003 (citado como HM Treasury, 2003), la tasa de descuento se reduce de 6% a 3,5% para la evaluación a 30 años y se utiliza un 3% para evaluaciones de 31 a 75 años. En el caso de Chile, MIDEPLAN ha reducido la tasa de un 12% a un 10%. Recientemente, en el Perú, el Ministerio de Economía y Finanzas ha bajado la tasa para la aplicación del SNIP (Sistema Nacional de Inversión Pública) de 14% a un 11%.

24 No siempre las estimaciones de las disposiciones a pagar o costos sociales reflejan, en la realidad, la verdadera disposición a pagar o el verdadero costo social.

de Monte Carlo supera todas estas críticas. También se menciona que el criterio del VAN esperado es inadecuado y es necesario considerar la varianza en el caso de grandes proyectos en relación con la economía, proyectos correlacionados y proyectos en los cuales los beneficios o costos recaen en grupos particulares dentro de un país.

A pesar de todas las desventajas que se han descrito, aun así, esta técnica ha perdurado en el tiempo y tiene un valor importante para avanzar en la medición del bienestar social incorporando la flexibilidad en la toma de decisiones, que se profundizará en la próxima sección.

6. Incorporación de las opciones reales en el análisis costo-beneficio: una necesidad paretiana

6.1. Marco de análisis

A modo de resumen y para fundamentar la presente sección, se debe recordar que se ha establecido:

- Que el análisis costo-beneficio recomienda aquellos proyectos que generan el máximo bienestar social y, por ende, el crecimiento económico.
- Que la capacidad empresarial, dentro de la cual la flexibilidad posee un valor agregado, genera crecimiento económico y, por lo tanto, debe ser incorporada en un análisis costo-beneficio.
- Que el análisis costo-beneficio fomenta proyectos socialmente atractivos porque respeta la noción paretiana de eficiencia, de que una asignación de recursos es óptima cuando ya no es posible mejorar a un agente económico sin empeorar a los demás agentes económicos.
- Que el principio de compensación de Kaldor-Hicks fundamenta los métodos de decisión y evaluación de proyectos públicos, los que se articulan alrededor de dos ejes: i) los métodos de revelación de preferencias; y ii) los métodos de cálculo de excedentes, que se apoyan en una valoración monetaria de la utilidad y desutilidad del consumidor.
- Que la metodología de costo-beneficio arroja idénticos resultados a la evaluación privada cuando no existen externalidades ni intangibles. En este sentido, Belli (1996) menciona que no es posible separar el análisis económico o social de la evaluación financiera o privada.
- Que una de las principales dificultades de utilizar el análisis costo-beneficio es la agregación de preferencias individuales en preferencias de la sociedad y el correspondiente teorema de imposibilidad de Arrow. Sin embargo, dicha desventaja (y otras) no supera las ventajas de su implementación.
- Que el riesgo y la incertidumbre generan un costo social. Por lo tanto, el sector público debe considerarlo y mitigarlo dentro del análisis costo-beneficio. Una forma de hacerlo es asumir que dicho riesgo se

diversifica entre los distintos agentes de la economía, como lo sugieren Arrow y Lind (1970).

- Que en el campo del análisis costo-beneficio de la economía ambiental, se ha introducido el término de cuasi-opción. Esto es relevante en la medida que se cumplan al menos tres condiciones: i) que la inversión sea irreversible e involucre grandes costos iniciales, que no pueden ser recuperados si el proyecto es abandonado; ii) que la inversión pueda ser postergada; y iii) que la información derivada de la postergación del proyecto pueda ser revelada durante el período de postergación de la inversión. El concepto de cuasi-opción puede ser asimilado al concepto de opciones reales, pues no genera valor económico.
- Que se reconoce que la sociedad posee una cartera de proyectos que deben ser gestionados como un portafolio, considerando la flexibilidad en la toma de decisiones, que se refleja en las decisiones secuenciales, las inversiones irreversibles y, por ende, las opciones reales.

En este sentido, se argumenta que la teoría de las opciones reales, que se presenta a continuación, es una extensión y complemento válido a ser utilizado como parte del análisis costo-beneficio, pues lo hace más eficaz y eficiente. Su introducción incrementa la riqueza de la sociedad, generando crecimiento económico, y completa mercados en el sentido de Arrow-Debreu.

Con el uso de opciones reales no se pretende sustituir el análisis costo-beneficio sino complementarlo y extenderlo, especialmente en el caso de proyectos de infraestructura pública.

6.2. Opciones reales

En los últimos años, el uso de opciones reales como complemento de la evaluación financiera ha sido creciente en las empresas privadas. Schwartz y Trigeorgis (2003) y Trigeorgis (1999) hacen referencia a que el trabajo de Myers (1977) fue el primero en dar una explicación sobre las opciones reales en la evaluación de inversiones. En efecto, Myers (1977) señala que muchos activos corporativos, particularmente las oportunidades de crecimiento, pueden ser vistos como opciones de compra y que el valor de estas opciones reales depende del valor de las futuras inversiones que realice la empresa. A partir de este trabajo, Kester (1984) discute sobre los aspectos estratégicos y competitivos de las oportunidades de crecimiento, y también reconoce que su idea de conectar las oportunidades de inversión con las opciones de compra nace de la idea seminal de Myers.

Brennan y Schwartz (1985a) realizan las primeras aplicaciones de opciones reales. El trabajo se basa en considerar que los precios de los recursos naturales siguen procesos estocásticos, definidos en un contexto de alta incertidumbre. Sin embargo, los autores también incluyen el control gerencial cuando consideran opciones de cierre temporal o de abandono de un proyecto. En ese mismo año, nuevamente Brennan y Schwartz (1985b) argumentan que la aproximación clásica de evaluación de inversiones –en la cual los flujos de

cajas son descontados a una tasa apropiada— asume una posición estática para las decisiones de capital, debido a que no considera la posibilidad que se pueden tomar futuras decisiones empresariales como respuesta a las nuevas condiciones de mercado. Para ejemplificar lo anterior, plantean formalmente estudiar una empresa minera como una opción y valorarla siguiendo los principios de valorización de opciones financieras propuestas en los artículos de Black y Scholes (1973) y Merton (1973).

También en 1985 y siguiendo la misma línea de pensamiento, Majd y Pyndick (1985) señalan que los patrones de costos e inversiones considerados en evaluaciones de inversiones, especialmente mineras y aeronáuticas, son flexibles y pueden ser ajustados cuando se revela nueva información, proponiendo un modelo que use valoración de opciones para determinar las inversiones óptimas y los tiempos de construcción. Mac Donald y Siegel (1986) sostienen que cuando la inversión es irreversible, y aun cuando los costos y la demanda están en ambientes con moderados niveles de incertidumbre, una decisión de inversión debe tomar en cuenta las opciones de esperar e invertir en el futuro. El costo de oportunidad de esperar puede ser grande y no valorarlo puede inducir a errores en las decisiones de inversión.

Nuevamente, Myers (1987) abre la discusión sobre la relación entre planificación estratégica y teoría financiera al plantear limitaciones al método del valor actual neto (o flujo de caja descontado), principalmente porque no permite valorar compañías con oportunidades importantes de crecimiento. En vista de ello, sostiene que el método del VAN debiera ser usado en conjunto con las fórmulas de valorización de las opciones de venta (*put*) y de compra (*call*); y, como consecuencia, que el valor presente de las futuras oportunidades de crecimiento puede ser modelado como un portafolio de opciones.

Las críticas a los trabajos de Kester (1984) y Myers (1987) estuvieron centradas, en primer lugar, en la impracticabilidad y complejidad en su valoración, y en que no se discute a profundidad sobre la aparente justificación intuitiva de sus planteamientos. En segundo lugar, en que las técnicas para capturar la flexibilidad operacional pueden ser usadas por el análisis de árboles binomiales, que había sido usado ampliamente por hace más de veinte años.

Frente a las críticas anteriores, Trigeorgis y Mason (1987) plantean que las técnicas de valorización de opciones pueden ser usadas para cuantificar la flexibilidad en una serie de proyectos. Finalmente, Pindyck (1988) y Dixit (1989) apoyan lo anterior, mediante el estudio de las decisiones de inversión en incertidumbre bajo una perspectiva de la teoría económica. En particular, Pindyck (1988) señala que se debe considerar y valorar hoy, como una parte de los costos de la inversión, la posibilidad de usar nueva información que llegará en el futuro, teniendo en cuenta que muchas inversiones son irreversibles. Si eso no se hace, la regla del VAN, en palabras de Pindyck (1988), “Invierta cuando el valor de una unidad de capital es al menos tan

grande como los costos de compra e instalación de dicha unidad de capital”²⁵, no es válida.

A partir de estos trabajos académicos, que en gran medida son “seminales”²⁶, en la década de 1990 y hasta ahora, ha surgido una vasta literatura e investigación orientada a detectar y proponer nuevas formas de planificar, plantear y valorar las decisiones de inversión en ambientes de incertidumbre y estratégicos, complementado el criterio del VAN con la valorización de la flexibilidad²⁷. Se han realizado aplicaciones a la valorización de inversiones desde una óptica privada en investigación y desarrollo, en evaluación de desarrollos inmobiliarios, en valoración de empresas de tecnología, en la industria farmacéutica y biotecnología, en inversiones mineras y petroleras, en proyectos de adquisición y puesta en marcha de plantas de energía²⁸. A este nuevo paradigma se le ha denominado Teoría de Opciones Reales.

Sin embargo, se destaca que en ninguna de estas referencias se escribe y se fundamenta que la teoría de opciones reales también puede ser aplicada a la evaluación socioeconómica de proyectos, sobre la base del análisis costo-beneficio.

Las opciones reales de que dispone la sociedad deben incluirse en la evaluación socioeconómica de proyectos, no solamente como consecuencia de la limitación mecánica-matemática que se produce en el VAN, por no considerar la capacidad de flexibilidad para adaptar las decisiones de inversión en ambientes de incertidumbre, sino también por condiciones estructurales, desde la óptica pura de la evaluación social. El interés de esta última es la generación de riqueza y el crecimiento económico que un proyecto de inversión pública puede generar en un país, desde una perspectiva de la sociedad. Estas condiciones estructurales fueron expuestas en la segunda sección.

En efecto, este resultado de la falla de la evaluación social por el método del VAN porque no considera la flexibilidad, es respaldado también por el hecho de que la contribución al crecimiento económico (y, por tanto, a la riqueza de un país), que es la principal preocupación de la evaluación social de inversiones, también se ve afectada por un factor productivo importante, que es la capacidad empresarial (*Entrepreneurships*); además de los otros tres factores por todos conocidos: el capital, el trabajo y la tierra.

25 Traducción del autor.

26 Es muy difícil definir cuándo un trabajo es realmente seminal. Incluso, Schwartz y Trigeorgis (2003) y Trigeorgis (1999) plantean que de distintas formas, a finales de los años 1970 e inicios de 1980, habían autores que ya criticaban fuertemente la técnica de valoración de empresa por medio del VAN.

27 Formalizados en diversos textos de estudio, por ejemplo, Dixit y Pindyck (1994), Trigeorgis (1999), Smit y Trigeorgis (2004), Antikarov y Copeland (2001), Amram y Kulatilaka (1999), Boer (2002), Brach (2003), Braquezec (2003) y Mascareñas et ál. (2004). Además, en Internet es posible encontrar una serie de páginas que publican artículos y se organizan para realizar eventos sobre el tema; por ejemplo, <www.realoptions.org> y <<http://www.puc-rio.br/marco.ind/main.html>>.

28 Una buena referencia para este tipo de aplicaciones es Howell et ál., 2001.

7. Evaluación privada de inversiones y opciones reales

7.1. Breve historia del valor actual neto en presupuestos de capital y valoración de inversiones

El valor actual neto es el método de valoración más usado en el mundo de la economía y finanzas. Por ejemplo, según un estudio realizado por Rayo y Cortés (2004), el 79,6% de los ejecutivos españoles usa el método de valoración del VAN para la toma de decisiones; mientras que, en el Perú, el 90% de las empresas lo utiliza, según un estudio realizado Mongrut y Wong (2005). El concepto que subyace es que tanto los ingresos como los costos futuros valen en el presente lo mismo que en el futuro, ajustado a una tasa de riesgo más el ingreso presente esperado de estos. El análisis del valor actual neto tuvo sus orígenes en los Estados Unidos, durante el proceso de industrialización que se dio en el siglo XIX, donde los empresarios buscaban controlar los costos y reforzar la eficiencia de sus respectivas operaciones para maximizar sus ganancias.

El ejemplo más renombrado de estos avances en los métodos directivos es el desarrollado por Pierre du Pont, al innovar el modelo de retorno de la inversión (ROI) en 1904, que fue ampliamente utilizado para la evaluación de inversión de capital proyectado hasta 1960 (Johnson y Kaplan, 1987). La innovación de Du Pont consistió en separar los costos de capital en el balance (que habían sido considerados previamente como los gastos de explotación) y colocarlos en una “cuenta de inversión permanente”. Esta modificación permite calcular porcentajes de ganancias del capital utilizado en el futuro.

A pesar del hecho de que el modelo de ROI no tuvo en cuenta la oportunidad en que ocurren los flujos de caja (de este modo, se proyectaba en función de este, el próximo año), su uso y desarrollo por Du Pont, y más tarde por General Motors, redujo los costos de dirección y promovió el uso eficiente de los recursos (Dulman, 1989). Más adelante, su utilización fomentó el desarrollo del análisis descuento por flujo de caja en otras compañías industriales, sobre la base de los resultados de Wellington (Chandler, 1977).

De hecho, no obstante lo valioso y famoso que resultó ser el ROI de Pierre du Pont, el primero en defender el uso de técnicas de valor presente para la selección de proyectos de inversión basado en la rentabilidad fue Arthur Wellington, superando las fallas del ROI. Es importante señalar que Dulman (1989) afirmó que los gerentes de las grandes compañías americanas de ferrocarril inventaron, durante 1850 y 1860, casi todas las técnicas básicas de la contabilidad moderna.

De acuerdo con Chandler (1977), Wellington, en su libro *The economic theory of the location of railways* (“Teoría económica de la localización de vías férreas”), en 1877, brevemente, describió un método para “la justificación del gasto presente” en la construcción de un ferrocarril dado e incluyó una tabla de valor presente para los distintos proyectos. La segunda edición de este libro,

publicada en 1887, enfatizó su enfoque al presupuesto de capital para ferrocarriles e incluyó un capítulo que tituló “An analysis of the conditions controlling the laying out of railways to effects the most judicious expenditure of capital” (“Un análisis de las condiciones que controlan la localización de vías férreas para efectuar el gasto más juicioso de capital”), donde proporcionó un conjunto de tablas de valor y explicaciones, así como ejemplos de aplicación de “expectativas de descuento” y la estimación de rentas y costos. Sin embargo, bajo el criterio actual, la técnica de Wellington (1887) presenta dos fallas: i) no incluyó el costo de los accionistas en su costo de capital; en lugar de ello, usó solo la tasa de la compañía; y ii) estableció la tasa de descuento sobre la base del modelo de decaimiento demográfico del tráfico, en lugar de usar el costo de capital para inversiones del mismo riesgo.

El trabajo de Wellington no fue conocido por los gerentes hasta la adopción de AT&T y Western Electric en 1923, influenciados por académicos, de importantes procedimientos de presupuestos para la ingeniería económica, cuyo principal objetivo fue la asignación racional de recursos escasos (Chandler, 1977). Entre estos académicos estaban John C. Fish y Eugenio Grant. Fish, que era profesor de ingeniería en ferrocarril, cuyos trabajos estaban inspirados en el trabajo de Wellington, explicó el concepto de valor presente y declaró que los economistas eran responsables de escoger las alternativas de inversión que rendirían el retorno máximo de dicha inversión y evaluar los proyectos importantes de todos los tipos de industria, no solo los de ferrocarriles. Grant, por su parte, enfocó su trabajo también en el valor presente, pero superó los problemas propuestos por la evaluación de proyectos, madurando la técnica del costo anual equivalente (Chadler, 1977).

A pesar de la adopción de la técnica del valor presente por parte de AT&T, esta no se usó en la industria hasta después de la Segunda Guerra Mundial. Según Chandler (1977), John Gregory fue el primer ingeniero en la industria de diesel en usar los métodos del flujo de caja descontado para evaluar los proyectos de inversión más importantes. Su trabajo en Atlantic Refining, y su libro titulado *Interest rates tables for determining rate of return on profit projects*, llamó la atención de la National Society of Business Budgeting (NSBB), que en 1946, a su vez, asignó a un comité el desarrollo en extenso del conocimiento del flujo de caja descontado. Luego, el NSBB publicó un folleto que tituló “A new model of computing rate of return on capital” (“Un nuevo modelo de cálculo de la proporción de retorno del capital”) y, en 1953, abandonó los dos métodos más comunes de evaluación de costos de capital: el período de reembolso y la contabilidad de la tasa de retorno.

En los años 1950, las grandes compañías, como Standard Oil y Atlas Power, decidieron adoptar las técnicas de los flujos de caja (FCD). El análisis de FCD también comenzó a ser difundido por los académicos de las escuelas de negocios, ayudados por la publicación de tablas de valor presente de largo plazo, calculadas por los computadores electrónicos disponibles en el momento. Lutz y Smith (1951) publicaron su “Teoría de la inversión de la empresa” (traducción del autor), donde establecieron un método para evaluar la

rentabilidad de capital de equipos de inversión. A partir de este trabajo se levantó la polémica entre la tasa interna de retorno y el valor presente neto, argumentando que el VAN era superior a la tasa interna de retorno, porque los resultados del VAN eran análogos a aumentar al máximo la tasa de retorno en la inversión. Estos resultados fueron después confirmados por Lorie y Savage (1955), quienes concluyeron que la tasa interna de retorno no aumentó necesariamente al máximo el valor de la empresa, considerando que el VAN aumentó al máximo el valor neto. Además, sobre la base de Baldwin y Clark (1994), Joël Dean, de la Universidad de Columbia, publicó, en 1951, *Capital budgeting*, donde describió los métodos de presupuesto de capital actualizado, en un estilo simple y comprensible, que estimuló a los ejecutivos comerciales de las más grandes compañías americanas a adoptar los sistemas de la metodología del descuento por flujo de caja.

Según el resumen proporcionado por Sick (1989), en los años 1950-1960, la mayoría de las empresas usó el VAN o métodos de retorno en sus evaluaciones de proyectos; y en 1970, la mayor parte de estas usó un análisis de FCD. En forma similar, el 86% de las 189 más grandes empresas consultadas en 1978, usaron técnicas de flujo de caja descontado, TIR o VAN.

7.2. Método del valor actual neto (VAN)

Cuando se evalúa un proyecto de inversión, se realiza una estimación de los flujos de caja y se calcula el valor actual con el objeto de poder comparar, en un momento determinado del tiempo (el actual o el presente), el valor de dichos flujos de caja con respecto a la inversión inicial que determina la materialización de dicho proyecto.

Como se ha señalado en la subsección 8.1., uno de los criterios de comparación comúnmente empleado para valorar proyectos de inversión en las empresas privadas es el Valor Actual Neto (VAN). Este método proyecta de manera directa la maximización del valor de la empresa para el accionista, pues indica exactamente cuánto aumentará de valor una empresa, si realiza el proyecto que se está valorando.

La expresión general matemática es la siguiente:

$$VAN = -I_0 + \sum_{t=1}^T \frac{FCN_t}{(1+r)^t}$$

Donde: I es la inversión inicial necesaria para la materialización del proyecto; FCN es el flujo de caja neto en el período t, es decir, la diferencia entre los beneficios y los costos; T es el horizonte temporal de evaluación; r es el costo de oportunidad del capital apropiado al riesgo del proyecto. La regla indica que si el VAN > 0, es aconsejable realizar el proyecto. Por el contrario, si el VAN es negativo, no sería aconsejable realizar el proyecto.

Mascareñas (1998) plantea que es necesario tener en cuenta que cuando se evalúa un proyecto de inversión, bajo la óptica del criterio de valoración VAN, se están realizando una serie de supuestos que afectan al resultado obtenido. Los principales son:

- Por la mecánica matemática del criterio, los flujos de caja del proyecto pueden ser reemplazados por los flujos promedios y se asume que son conocidos desde el principio del análisis. Esto implica no tomar en consideración que la administración de la empresa puede cambiarlos, al adaptar su gestión a las condiciones imperantes en el mercado durante toda la vida del proyecto. La posibilidad de cambiar o adaptar implica considerar la flexibilidad que dispone la gerencia, lo que crea valor para el proyecto de inversión, valor que la técnica del VAN es incapaz de reflejar.
- La tasa de descuento es conocida y constante, dependiendo únicamente del riesgo del proyecto; por ejemplo, calculada mediante un modelo CAPM. Esto significa suponer que el riesgo es constante. Mascareñas (1998) señala que este supuesto es falso en la mayoría de los casos, puesto que el riesgo depende de la vida que le quede al proyecto y de su rentabilidad actual, por medio del efecto del apalancamiento operativo. Por tanto, la tasa de descuento varía con el tiempo y, además, es incierta.
- Una proyección acuciosa de los precios esperados a lo largo de todo el horizonte temporal del proyecto es muy difícil de realizar, porque la gran variabilidad de aquellos obligaría a esbozar todos los posibles caminos seguidos por los precios al contado a lo largo del horizonte de planificación. En vista de dicha dificultad, de cara a la aplicación del VAN, arbitrariamente se eligen unos pocos de los muchos caminos posibles (Mascareñas, 1998).

Esta regla es imprecisa porque: i) no considera potenciales opciones de esperar para obtener nueva información; ii) asume que una vez materializada la inversión, los administradores del proyecto tienen una actitud pasiva; iii) no considera las oportunidades abiertas por un proyecto en ejecución, subvalorando el flujo de ingresos futuros que este genera.

7.3. Definiciones y tipos de opciones reales

Una opción se puede definir como un contrato que da derecho a su poseedor a vender o comprar un activo a un precio determinado (precio de ejercicio), durante un período o en una fecha prefijada. Si la opción se puede ejercer en solo una determinada fecha, se habla de una opción europea; en caso contrario, de una opción americana. El valor de una opción se puede dividir en dos componentes: i) el valor intrínseco y ii) el valor tiempo o temporal.

El valor intrínseco es el valor que tendría una opción en un momento determinado, si se ejerciese de manera inmediata. En el caso de una opción de compra y venta, formalmente, esta se calcula como:

$$c = \text{MAX}[S - E, 0]$$

$$p = \text{MAX}[0, E - S]$$

Donde: c y p son el valor intrínseco de una opción de compra y venta, respectivamente; E es el precio de ejercicio y S es el precio del activo subyacente (Black y Scholes, 1973; Merton, 1973). Adicionalmente, el comprador de una opción estará dispuesto a pagar un precio superior al valor intrínseco, si espera que los precios en el mercado puedan modificarse hasta el vencimiento, de tal forma que obtenga un beneficio superior a dicho valor. El vendedor de una opción exigirá una prima superior al valor intrínseco para cubrirse del riesgo de una alteración en los precios que le suponga una pérdida superior.

Siguiendo la misma lógica de las definiciones anteriores, una opción real es el derecho, pero no la obligación, que tiene un agente económico de tomar una acción determinada respecto de un proyecto de inversión a un determinado costo, en un período específico. Las acciones que puede tomar el agente económico pueden ser la de diferir, ampliar, postergar, abandonar, expandir y contratar, entre otras.

Como se ha mencionado, el término opciones reales fue propuesto, por primera vez, por Myers (1977) para definir la brecha que existe entre la planificación estratégica y las finanzas:

El valor de una firma en operaciones depende de su estrategia futura de inversiones. Entonces es útil para propósitos de exposición pensar a la firma como una composición de dos tipos de activos: (1) activos reales, los cuales tienen valores de mercado independientes de la estrategia de inversión de la firma; (2) opciones reales, las cuales son oportunidades de comprar activos reales en posiblemente términos favorables (Myers, 1977: 163)²⁹.

En efecto, es posible distinguir múltiples tipos de opciones reales que han sido descritas y estudiadas en la literatura (Trigeorgis, 1999; Boer, 2002; Brach, 2003; Mun, 2006). Por ejemplo:

- **Opción de diferir.** Existe un valor de esperar a que la incertidumbre se revele, o disminuya, antes de emprender inversiones irreversibles. Por lo tanto, esta opción proporciona el derecho a posponer su realización durante un plazo determinado.
- **Opción de discontinuar la construcción.** Durante el período de construcción de una obra puede revelarse nueva información que genere, óptimamente, su estancamiento. Por lo tanto, proporciona el derecho, mas no la obligación, a discontinuar la construcción. En extremo, puede resultar óptimo abandonar la obra (*Option to abandon*).

²⁹ Traducción del autor.

- **Opción de expandir o contraer la capacidad.** Un proyecto puede, durante su ejecución, mostrar potencial para ser expandido (*Option to expand*) más allá de la inversión original o para ser reducido.
- **Opción de suspender, cerrar (To shut down) y reabrir operaciones.** Corresponde al caso en que un proyecto siempre puede, en algún nivel de costo y demanda, operar discontinuadamente, dependiendo de las condiciones de mercado.
- **Opción de cambiar los factores o insumos productivos.** Corresponde al caso en que una firma es capaz de reaccionar frente a particulares condiciones del mercado, cambiando la composición de sus insumos o sus productos finales.

Opciones reales como estas, permiten a los agentes agregar valor al proyecto, aumentando las ganancias o mitigando las pérdidas. En algunos casos, estas opciones se encuentran “encajonadas”, en el sentido de que el valor de una opción está dado por la adquisición de otra opción. Este es un caso típico de investigación y desarrollo, donde cada etapa de investigación abre nuevas posibilidades de extensión de los estudios y de uso comercial de los resultados finales (Pries et ál., 2001; Rogers et ál., 2002; Cheng, 2006).

Una característica importante referente al valor de las opciones financieras es que estas incrementan su valor en escenarios de mayor incertidumbre, lo que lleva, contrario a lo que se intuye, a incrementar el valor de los proyectos. La intuición es muy simple, la existencia de opciones permite truncar los escenarios muy negativos; mientras que los escenarios en extremo positivos pueden ser materializados. Esto puede ser extendido al caso de opciones reales, cuando estas puedan ser implementadas y llevadas a la práctica, ya sea internalizándolas al interior de la gerencia (pública y/o privada) o mediante contratos con agentes externos que completen mercados.

Una particularidad conveniente del punto de vista del análisis de opciones es que un proyecto puede ser valorado a través de su VAN estándar, más la suma del valor de todas las opciones reales de que dispone. Ello facilita enormemente la valoración privada en ambientes de incertidumbre. Se ha argumentado que dicho método también debiera ser extendido a la evaluación social de los proyectos de inversión pública (en particular, los relacionados con infraestructura). En la etapa de implementación de dichos proyectos, el Gobierno puede escribir las opciones reales en contratos de largo plazo y, de esta forma, completar mercados en el sentido de Arrow-Debreu. Un campo ideal para la aplicación concreta de opciones reales lo constituyen las asociaciones pública-privadas, que pueden ser definidas como contratos de largo plazo entre el sector público y el sector privado para el desarrollo de infraestructura pública y servicios relacionados (Yescombe, 2007).

7.4. Técnicas de valoración

Los mecanismos de valoración de opciones pueden ser clasificados en tres categorías:

- I) **Valoración por medio de la solución de una ecuación diferencial parcial.** Este método es el más elegante y genera una solución analítica al problema de valoración de opciones. La fórmula más conocida de valoración de opciones es la de Black y Scholes (1973), que pertenece a esta clase de soluciones. Desgraciadamente, debido a las particularidades de cada problema, no siempre es posible encontrar soluciones analíticas y es necesario intentar alguno de los otros procedimientos.
- II) **Valoración por programación dinámica.** Este método es esencialmente numérico y está basado en la optimalidad de las decisiones de los agentes en cada momento del tiempo. El más común, dentro de esta clase, es el método árboles binomiales desarrollado por Cox, Ross y Rubinstein (1979).
- III) **Valoración por simulaciones.** En este caso se generan múltiples trayectorias posibles para las variables y se estiman los valores esperados incorporando las opciones que existen “en el camino”. El método más usual en esta clase de mecanismos es el de Monte Carlo, cuya aplicación a la valoración de opciones fue propuesta por Boyle (1977), el cual se ha popularizado en los últimos años por la existencia de computadores de alto poder de memoria y rapidez. Para el caso de opciones que puede ser ejercidas en cualquier momento del tiempo (denominadas opciones americanas), el método más común es el propuesto por Longstaff y Schwartz (2001).

Si bien existen ventajas y desventajas asociadas a cada uno de estos métodos, los expertos recomiendan usarlos lexicográficamente. Es decir, si es posible aplicar el primero, entonces, úselo; si no, utilice el segundo; y si este no es factible, use el tercero.

La mayoría de los modelos de valoración de opciones, ya sean financieras o reales, se basan en dos principios: la valoración neutral al riesgo y la ausencia de arbitraje (Ross, 1976).

El principio de valoración neutral al riesgo establece que cualquier activo, cuyo valor dependa del precio de un activo subyacente, puede valorarse desde el supuesto que el mundo es neutral al riesgo. Esto significa que, para propósitos de valorar una opción o cualquier activo derivado, podemos suponer lo siguiente:

- La rentabilidad esperada de todos los valores es el tipo de interés libre de riesgo.
- Los flujos de caja futuros pueden valorarse descontando sus valores esperados al tipo de interés libre de riesgo.

Bajo este argumento, no se requiere absolutamente ninguna información acerca de las probabilidades que pueden tener el o los activos subyacentes en el futuro, basta con asumir los posibles valores que tomará el activo

subyacente y la probabilidad se calcula de manera exógena. Este resultado es sorprendente y muy útil para valorar opciones.

En este sentido, se sabe que la rentabilidad esperada de un activo es (véase Hull, 2000):

$$E(S_T) = p \times S \times u + (1 - p) \times S \times d$$

El activo puede tomar el valor $S \times u$ con probabilidad p o el valor $S \times d$ con probabilidad $(1-p)$. En un mundo neutral al riesgo, sabemos que el activo entregará una rentabilidad igual a r en un escenario discreto o e^{rt} en un escenario continuo, siendo r la tasa libre de riesgo.

En consecuencia, sabemos que:

$$E(S_T) = p \times S \times u + (1 - p) \times S \times d = e^{rt} = (1 + r)$$

Despejando, para p se tiene una solución en tiempo continuo y discreto, respectivamente:

$$p = \frac{(e^{rt} - d)}{(u - d)} \quad \text{y} \quad p = \frac{((1 + r) - d)}{(u - d)}$$

8. Metodología de opciones reales

8.1. Aspectos metodológicos

Amram y Kulatilaka (1999) identifican la metodología de aplicación de opciones reales como un proceso de cuatro etapas:

- En la primera etapa se establece el marco conceptual; es decir, la identificación de las opciones, la forma cómo se toman las decisiones de inversión y los grados de incertidumbre que se presentan.
- En la segunda etapa se identifican el modelo de valoración, el activo subyacente y la volatilidad, y se calcula el valor de la opción.
- La tercera etapa revisa los resultados y establece las variables críticas para las decisiones de inversión.
- La etapa final rediseña la opción y refina su definición conceptual, permitiendo de esta forma realizar la gestión del proyecto mediante las opciones reales creadas.

Por su parte, Antikarov y Copeland (2001) también establecen el proceso de aplicación de opciones reales en cuatro etapas, pero de una manera diferente. Ellos plantean, primero, calcular un caso base sin considerar las opciones reales, usando para ello el modelo del VAN. En una segunda etapa, modelar la

incertidumbre incorporando análisis de árboles binomiales, con el fin de detectar cómo se comporta la incertidumbre en el tiempo. En la tercera etapa, se debe identificar e incorporar la flexibilidad gerencial, creando árboles de decisiones; y, finalmente, en la última etapa, aplicar la metodología de opciones reales valorándolas por medio de un modelo financiero. Modelos complementarios, que desarrollan procesos de decisiones con opciones reales, pueden encontrarse en Luehrman (1998) y Benaroch (2002).

Es importante señalar que, en algunas ocasiones, la metodología de opciones reales puede ser más útil para contextualizar e idear los proyectos de inversión en ambientes de incertidumbre, que para orientarla a la valoración de estas inversiones (Mascareñas et ál., 2004).

Según los autores, una de las razones para que suceda lo anterior es que en algunos sectores es difícil realizar la valoración porque las inversiones no tienen, necesariamente, activos subyacentes que se puedan identificar con precisión. En este sentido, en un contrato de largo plazo para el desarrollo de infraestructura entre el sector público y el sector privado, se pueden identificar opciones de salida que pueden ser ejercidas por cada uno de los agentes de manera diferente y en períodos distintos, si se verifican cambios en las condiciones inciertas asociadas a variables claves del contrato. Por ejemplo, los riesgos geológicos que se verifican posteriormente a la firma del contrato pueden presionar al sector privado para que invoque una opción de salida o de término anticipado del contrato; un aumento inesperado de la demanda puede provocar que se ejerza una opción de ampliación de la infraestructura por parte del Gobierno.

En este tipo de contratos de largo plazo, la autoridad pública puede escribir opciones *embedded* de manera rigurosa y la valoración puede estar incluida en el proceso de licitación del contrato, manifestada por la oferta económica presentada por los licitantes. En esta misma línea, recientemente, Fredberg (2007) ha argumentado que en proyectos en investigación y desarrollo muy riesgosos, la forma de valorar la opción es poco intuitiva. Sin embargo, la aproximación conceptual de la flexibilidad en este tipo de proyectos resulta altamente deseable para el proceso de toma de decisiones.

En el análisis financiero, la definición de riesgo es clara y precisa. El riesgo está relacionado con la volatilidad en el valor de un activo. La medida de la volatilidad es su desviación estándar, que indica el grado de dispersión de los valores individuales de una variable aleatoria respecto de su valor medio. Si definimos R como el valor del activo o proyecto al final de intervalo i , μ_i como $\ln(R_i/R_{i-1})$ y $E(\mu)$ como la media de μ_i , entonces, la desviación estándar o volatilidad puede determinarse teniendo en cuenta sus valores históricos y en tiempo continuo de la siguiente manera:

$$\sigma_R = \frac{1}{\sqrt{t}} \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^N [\mu_i - E(\mu)]^2}$$

El problema de la definición anterior es que, en algunos casos, no existen valores históricos de mercado de un proyecto o activo real, pues al momento de realizar la evaluación de la inversión este no existe. La única certeza que se tiene, al momento de evaluar su materialización, es que el futuro no será igual que el pasado. Dado que se está trabajando en un ambiente de incertidumbre, la necesidad de obtener una volatilidad es clave para aplicar la metodología de opciones reales. Sin embargo, es un cambio importante respecto del análisis tradicional del VAN, ya que se trata de valorar los beneficios de la flexibilidad.

Antikarov y Copeland (2001) proponen que cuando sea imposible obtener la volatilidad de un proyecto usando datos históricos, es necesario recurrir a la opinión de los especialistas sectoriales y de gerencia para obtener una opinión experta. Con esta opinión experta es posible aproximar la volatilidad subyacente o "subjettiva", asumiendo ciertas variables de distribuciones típicas para la variable objeto de revisión³⁰.

Mun (2006) señala que al menos cinco requerimientos se deben satisfacer antes de aplicar la metodología de opciones reales:

1. **Debe existir un modelo de valoración financiera.** El análisis de las opciones reales requiere un modelo financiero que descuenta flujos de caja. Si el modelo no existe, significa que las decisiones estratégicas ya han sido tomadas y no es necesaria una justificación financiera que utilice un modelo de VAN con opciones reales. Sin embargo, se comparte la posición de Mascareñas et ál. (2004), en el sentido de que también resulta importante la identificación de las opciones reales.
2. **La incertidumbre debe existir.** Sin incertidumbre el valor de la opción es cero. Si todo es conocido, la volatilidad como medida de riesgo e incertidumbre vale cero y, por lo tanto, un simple modelo de flujo de caja descontando que calcule el VAN es suficiente.
3. **La incertidumbre debe afectar las decisiones** cuando la empresa está administrando el proyecto de inversión de manera activa, y esas incertidumbres deben afectar los resultados del modelo financiero. Estas incertidumbres deben transformarse en riesgos y las opciones reales se pueden usar para cubrirse de escenarios adversos y tomar ventajas en escenarios favorables.
4. **La gerencia debe tener flexibilidad estratégica u opciones** para corregir decisiones, tomadas cuando estos proyectos están siendo administrados de manera activa. De otra forma, la recomendación de Mun (2006) es que no se debe aplicar la metodología.

30 El desarrollo formal que realizan Antikarov y Copeland (2001) es simple y bastante importante para la evaluación de inversiones en proyectos públicos (véase el capítulo 9, pág. 259).

5. **La gerencia debe ser lo suficientemente inteligente y creíble para ejecutar las opciones cuando sea oportuno hacerlo.** En otro caso, todas las opciones reales son inútiles, a menos que ellas sean ejecutadas apropiadamente en el momento preciso y en las condiciones correctas.

8.2. Ilustraciones de la metodología

Para ilustrar de manera general la metodología, se revisará el siguiente ejemplo.

El ejemplo supone que una empresa privada debe decidir si lleva a cabo, o no, la construcción de un embalse. La inversión es completamente irreversible en el sentido de que si la demanda asociada al embalse desapareciera³¹, el costo de la inversión se pierde por completo, pues la inversión física no tiene un uso alternativo. Además, se supondrá que la inversión se realizará instantáneamente al costo I , que cada año se tendrá una producción normalizada a 1 y que el costo marginal de producción es cero.

Actualmente, el valor del producto anual generado por el proyecto (en adelante, el precio³²) es de \$ 200, pero el próximo año será de \$ 300 con probabilidad q y \$ 100 con probabilidad $(1-q)$. Una vez resuelta la incertidumbre del próximo año, el precio quedará fijo en el nuevo valor indefinidamente.

Se asume que la tasa de descuento libre de riesgo asciende a un 10% anual, la que se asume igual a la tasa social de descuento por simplicidad.

Para fijar ideas, se supone que: $I = \$ 1.600$ y $q = 0,5$. En primer lugar, cabe señalar que el precio esperado es siempre \$ 200. Entonces, un cálculo simple del VAN del proyecto obtenido de manera estándar implica:

$$VAN(10\%) = -1.600 + \sum_{t=0}^{\infty} \frac{200}{(1+0,1)^t} = -1.600 + 2.200 = \$ 600 \quad (1)^{33}$$

Vale decir, el proyecto presenta un VAN positivo y, por lo tanto, bajo un análisis estándar, debiera ser ejecutado. Sin embargo, esta conclusión es incorrecta, pues el análisis anterior ignora un costo: el costo de oportunidad de invertir ahora frente a esperar y mantener abierta la posibilidad de no invertir, si el precio cae.

31 El embalse puede ser multipropósito; es decir, para la generación de energía hidráulica y/o para riego.

32 Por ejemplo, el valor de la producción agrícola que es posible regar con la presencia del embalse.

33 Obsérvese que el segundo término de la derecha, la expresión en sumatoria, comienza en 0 y, por lo tanto, el valor de 200 debe ser sumado a la perpetuidad.

Para determinar cuáles son los beneficios de esta alternativa, se considerará el caso en que se espera un año para saber si el precio será \$ 100 o \$ 300, para luego realizar la inversión solo si esta resulta rentable. Es decir, si el precio resulta ser \$ 300. El VAN esperado de esta alternativa es:

$$VAN(10\%) = 0,5 \left[\frac{-1.600}{1,1} + \sum_{t=1}^{\infty} \frac{300}{(1+0,1)^t} \right] = \frac{850}{1,1} = \$ 773 \quad (2)$$

En este caso, la inversión solo se realiza si el precio observado es \$ 300. Resulta claro que es mejor esperar un año a que se resuelva la incertidumbre frente a invertir hoy.

Sin embargo, ¿cuál es el origen de esta diferencia en el VAN? Si la decisión de realizar el proyecto, o no, tuviese que ser tomada hoy³⁴, evidentemente es mejor realizarlo que no hacerlo. Dado que se tiene la flexibilidad de posponer esa decisión, esta flexibilidad debe tener algún valor.

El valor de esta opción puede ser calculado, en este ejemplo, como la diferencia entre el VAN obtenido en las fórmulas (1) y (2). Vale decir, el valor de la flexibilidad es: $773 - 600 = \$ 173$. En otras palabras, un inversionista debiera estar dispuesto a pagar \$ 173 más por una oportunidad de inversión que es flexible frente a otra, que le obliga a decidir hoy si ejecuta o no el proyecto.

El ejemplo anterior ilustra que el mecanismo tradicional de evaluación de proyectos falla en escenarios donde resulta valioso postergar una inversión, para esperar por mejor información que será revelada en el futuro. La naturaleza misma del problema lleva, de manera lógica, a hacer uso de la teoría de opciones financieras para valorar las llamadas “opciones reales”. Esto es, las opciones sobre variables de decisión no financieras que afectan los retornos de la firma.

8.3. Implicancias para la evaluación social de proyectos

Anteriormente se mostró que la evaluación privada de proyectos, usando únicamente el VAN, no considera el valor de ciertas “opciones reales”, como pudieran ser, por ejemplo, la opción de esperar que se revele cierta información antes de tomar decisiones de inversión de carácter irreversible. Sin embargo, estas distorsiones en la evaluación tradicional no se limitan al caso de la evaluación privada, sino que trascienden a la evaluación social de proyectos.

Se supondrá que en el ejemplo desarrollado es necesario realizar una inversión “ahora o nunca”, previa a la decisión de invertir, o no, en el embalse. Dicha inversión pudiera representar, por ejemplo, el costo de los estudios técnicos requeridos para el dimensionamiento del monto de inversión. En tal sentido,

34 Por ejemplo, debido a que si no se invierte hoy se pierde el mercado frente a un competidor.

esta preinversión tiene un valor específico en la realización del proyecto de inversión original. De no realizarse la preinversión, no hay ninguna posibilidad de construir el embalse, de manera que el eventual negocio se pierde.

A continuación se presenta un ejemplo que está adaptado y reformulado con una aplicación directa a inversiones públicas, siguiendo a Dixit y Pyndick (1994).

Se considerarán dos valores posibles para el monto de esta preinversión (PI).

Caso 1: PI = 700

Suponiendo que el costo de esta preinversión es de \$ 700 y, además, que los beneficios anuales del ejemplo anterior generan una externalidad positiva de 100, si el precio es de \$ 300; 50, si el precio es \$ 200 y cero, si el precio es \$ 100. Esta externalidad es valorada por la autoridad, pero no por un privado interesado en el proyecto del embalse.

Desde el punto de vista privado, si la evaluación es realizada utilizando el método tradicional, se tiene:

$$VAN(10\%) = -700 - 1.600 + \sum_{t=0}^{\infty} \frac{200}{(1+0,1)^t} = -700 - 1.600 + 2.200 = -\$100$$

Es decir, el privado decidiría no realizar la preinversión y, en consecuencia, desechar el proyecto del embalse. Si, por el contrario, el privado valora el hecho de que la preinversión le dará la opción de decidir en el futuro si sigue adelante con el embalse, su evaluación será:

$$VAN(10\%) = -700 + 0,5 \left[\frac{-1.600}{1,1} + \sum_{t=1}^{\infty} \frac{300}{(1+0,1)^t} \right] = -700 + \frac{850}{1,1} = \$73$$

Es decir, la decisión privada sería realizar la preinversión y luego esperar un año, para decidir si resulta conveniente o no emprender la inversión en el embalse. Por su parte, el Estado es un observador de las decisiones del privado. Para él, la evaluación social tradicional que corresponde es:

$$VAN_s(10\%) = -700 - 1.600 + \sum_{t=0}^{\infty} \frac{250}{(1+0,1)^t} = -700 - 1.600 + 2.750 = \$450$$

Sin embargo, si el Estado considera el valor de la opción involucrada, el VAN social de esperar que se revele la información futura corresponde a:

$$VAN(10\%) = -700 + 0,5 \left[\frac{-1.600}{1,1} + \sum_{t=1}^{\infty} \frac{400}{(1+0,1)^t} \right] = -700 + \frac{0,5[-1.600 + 4.400]}{1,1} = \$573$$

En este ejemplo se aprecia que la opción de esperar también es valorada por el Estado, de manera que el VAN social se incrementa en relación con el calculado en forma tradicional. Aun más, si el Estado y el privado utilizan la evaluación económica tradicional, podría suceder que el Estado termine ofreciendo subsidios a un proyecto que no lo requiere.

En lo que sigue, se supone que los privados, como consecuencia de que sus decisiones son tomadas en ambientes competitivos, incorporan la valoración de opciones en sus decisiones. Por otro lado, el Estado no incorpora dichas opciones en sus evaluaciones, pero sí incorpora todas las externalidades involucradas.

Caso 2: PI = 1.200

Se supone ahora que el costo de la preinversión es de \$ 1.200 y se mantendrá, además, el supuesto de que los beneficios anuales del ejemplo desarrollado anteriormente generan una externalidad positiva de 100, si el precio es \$ 300; 50, si el precio es \$ 200 y cero, si el precio es \$ 100. Esta externalidad, como antes, es valorada por la autoridad mas no por un privado interesado en el proyecto.

Desde el punto de vista privado, se ha asumido que este incorpora el valor de las opciones financieras involucradas. Por lo tanto, su evaluación será:

$$VAN(10\%) = -1.200 + 0,5 \left[\frac{-1.600}{1,1} + \sum_{t=1}^{\infty} \frac{300}{(1+0,1)^t} \right] = -1.200 + \frac{850}{1,1} = -\$427$$

Es decir, la decisión privada sería no realizar inversión alguna y, por lo tanto, no participar en el eventual negocio futuro del embalse. Ahora bien, desde el punto de vista del Estado, la evaluación social tradicional es:

$$VAN_s(10\%) = -1.200 - 1.600 + \sum_{t=0}^{\infty} \frac{250}{(1+0,1)^t} = -1.200 - 1.600 + 2.750 = -\$50$$

Sin embargo, si el Estado considerase el valor de la opción involucrada, el VAN social de esperar que se revele la información futura correspondería a:

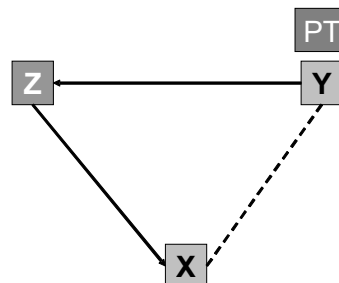
$$VAN(10\%) = -1.200 + 0,5 \left[\frac{-1.600}{1,1} + \sum_{t=1}^{\infty} \frac{400}{(1+0,1)^t} \right] = -1.200 + \frac{0,5 [-1.600 + 4.400]}{1,1} = \$73$$

Se observa que si el Estado utiliza un criterio tradicional de evaluación social, concluirá que el proyecto en cuestión no es socialmente rentable. Sin embargo, si incorpora el valor de la opción involucrada, el VAN social sí resulta positivo y, por lo tanto, es óptimo emprender el proyecto.

8.4. Opciones de crecimiento en la evaluación social de proyectos

En el ejemplo, que a continuación se presenta, se muestra de manera general la valoración de un proyecto que tiene una opción de desarrollo de manera subyacente, usando para ello el método de valoración de opciones del modelo Black y Scholes (1973). Este ejemplo de opción real de crecimiento (*growth option*) fue propuesto, por primera vez, por Brealey y Myers (1984) y se ha incorporado en varios textos de estudio, por ejemplo en Mascareñas et ál. (2004).

Para ello, considere dos localidades: X e Y. La localidad X tiene un puerto principal, por donde salen los productos de exportación, y es, además, la ciudad principal del país. A su vez, la localidad Y es una zona meramente productiva, donde predomina la actividad forestal, agrícola y ganadera. Para que los productos producidos en la localidad Y puedan llegar a la localidad X, existe una carretera que conecta Y con Z y Z con X. El costo de transporte de la situación actual es alto, tanto en tiempo como en costos de operación de los vehículos. El sector público está evaluando, socialmente, invertir recursos públicos en el mejoramiento integral de un camino que conecte la localidad X con la localidad Y. Según estimaciones del Gobierno, este mejoramiento del camino de conexión generará importantes beneficios para la localidad Y, lo que permite planificar, desde una óptica del sector público, en segundo término, la construcción de un puerto terrestre (PT) que integre como zona logística las actividades productivas de la localidad Y y sus alrededores. El siguiente esquema muestra la situación:



Solamente es posible desarrollar el puerto, si y solo si se desarrolla la carretera en términos de mejoramiento de su estándar de circulación. El proyecto de la carretera que conecta a la localidad X e Y presenta los siguientes flujos de caja neto valorados a precios sociales. Los beneficios brutos han sido calculados por la metodología presentada en la sección 3 y las inversiones iniciales, equivalentes a 100 millones de dólares, están calculadas a precios sociales.

Año	Flujo de caja neto (Millones)
2007	- 100
2008	+ 3
2009	+ 5
2010	+ 9
2011-2037	$10 \times (1 + 1,03)^t$

El valor actual neto descontado a una tasa social del 10% entrega un valor de -21,64 millones de dólares. El análisis costo-beneficio tradicional recomienda no iniciar la inversión en el camino. El VANS es negativo y, en consecuencia, no incrementa la riqueza de la sociedad. Sin embargo, es importante ver que el proyecto no solamente proporciona flujos de caja netos asociados a la construcción de la carretera, sino también genera una opción de compra para desarrollar el puerto, lo que constituye el verdadero valor estratégico del proyecto para la sociedad. Una vez construida la carretera y si la opción por parte de la sociedad se ejerce, valdrá la pena invertir en el puerto; en caso contrario, será mejor abandonarlo. La pregunta es: ¿cuánto vale la opción de compra? Se asume que el puerto está proyectado para el año 2011, año en el que la inversión inicial asciende a 150 millones de dólares y el valor futuro de los flujos de caja, calculado en 2011, asciende a 300 millones de dólares. Dicho monto en valor actual a una tasa de descuento del 10% asciende a 205 millones de dólares³⁵.

La solución analítica, desarrollada por Black y Scholes (1973), para una opción de compra con precio de ejercicio X y precio *spot* S está dada por:

$$c(S, t, X) = SN(d_1) - Xe^{-rt} N(d_2)$$

Donde:

$$d_1 = \frac{\ln(S/X) + (r + 1/2\sigma^2)t}{\sigma\sqrt{t}}$$

$$d_2 = d_1 - \sigma\sqrt{t}$$

$N(.)$ es la distribución normal estándar acumulada, r es la tasa libre de riesgo y σ es la volatilidad. Asumiendo que S es igual a 205, X es igual a 300, que la volatilidad supuesta es 30% y r es 6%, la valoración de la opción de compra es igual a:

$$C(S, t, X) = 205 \times N(d_1) - 300 \times e^{-1,06 \times 4} \times N(d_2) = \text{US\$ } 37,40 \text{ millones}$$

La opción de compra tiene un valor de 37,40 millones de dólares para la sociedad, valor que más que compensa la rentabilidad negativa de la carretera. El VANS total, que incluye el valor de la opción, asciende a 15,76 millones de dólares. Con este enfoque, que considera el valor de la opción de compra de construir el puerto, la carretera que conecta la localidad X e Y debe realizarse.

8.5. Inversiones por etapas en el análisis costo-beneficio

En el segundo ejemplo, imagínese que el sector público, en representación de la sociedad, tiene que decidir si invierte en un nuevo proyecto que conecta dos

³⁵ $\left(\frac{300}{(1.1)^4} \right)$

localidades por un camino de ripio o por un camino pavimentado con asfalto. Al camino de ripio (o trocha) lo denominaremos camino tipo A y al camino pavimentado, tipo B. Los costos de inversión para el camino tipo A ascienden a 20 millones de dólares, comparado con los costos de invertir de una sola vez en el camino tipo B, que asciende a 150 millones de dólares. Si la demanda se verifica, los beneficios sociales netos que pueden obtenerse para el camino A, en valor actual al año 2, ascienden a 20 millones de dólares. Si la construcción del camino genera una demanda baja, los beneficios sociales son 5 millones de dólares. Los evaluadores del sector público estiman que existe un 70% de probabilidad que la demanda sea atractiva y un 30% que la demanda sea baja. Si la demanda alta se verifica, el sector público invertirá 130 millones de dólares adicionales a partir del año 3 para implementar el camino B. Los beneficios sociales netos, actualizados al año 3, ascienden a 200 millones de dólares en el caso de demanda atractiva (o alta) y a 50 millones de dólares en el caso demanda baja. Las probabilidades se mantienen para ambos escenarios.

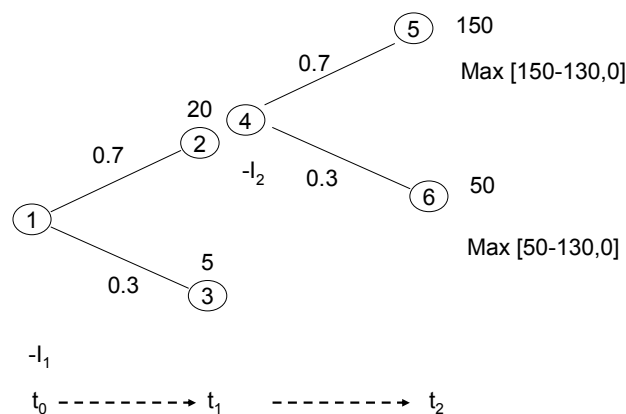
El valor actual neto para determinar la conveniencia de realizar los proyectos, con una tasa social de descuento del 12%, se muestra a continuación:

$$CAMINO A: \frac{0,7 \times 20 + 0,3 \times 5}{1,12^2} - 20 = -7,63$$

$$CAMINO B: \frac{0,7 \times 150 + 0,3 \times 50}{1,12^3} - 130 = -19,60$$

El valor actual neto de la combinación de ambos tipos de tecnologías es de -27,23 millones, lo que claramente sugiere no realizar el camino A ni el B.

El análisis de opciones reales provee una perspectiva diferente de evaluación para la sociedad. Para ello, se examina el siguiente árbol binomial:



El sector público no debiera tomar la decisión de seguir adelante con el proyecto e implementar el camino B a un costo adicional de 130 millones de

dólares, si los ingresos del proyecto del camino A no son favorables. Esto significa que las proyecciones de demanda no se verificaron y sugeriría no ejercer la opción de seguir adelante con el camino tipo B e invertir 130 millones de dólares, si el proyecto inicial sugiere que los beneficios no excederían los 50 millones de dólares. El valor esperado del camino tipo B, en el nodo 4, sería:

$$V_4 = 0,7 \times 150 + 0,3 \times 50 = 120$$

Usando la expresión para la estimación de la probabilidad neutral al riesgo, analizada anteriormente, esta asciende a:

$$p = \frac{(1 + 0,07) \times 120 - 50}{150 - 50} = 0,784$$

El valor de la opción de compra (*call option*) en el nodo 4 es igual a la tasa libre de riesgo:

$$C_4 = \frac{0,784 \times 150 + (1 - 0,784) \times 50}{1,07^3} = 104,81$$

Entonces, con una probabilidad del 70%, la sociedad alcanzará el nodo 2 y adquirirá la opción de compra, comenzado en el nodo 4, para construir el camino tipo B; es decir, pavimentar con asfalto el camino. Esta opción es valorada en 104,81 millones de dólares. Con un 30% de probabilidad, los beneficios netos del proyecto no excederán los 5 millones de dólares y la implementación del camino B no será ejecutado. Por lo tanto, invertir en el camino de trocha entrega a la sociedad un valor actual neto negativo de 7,63 millones de dólares, pero también se adquiere una opción de mejoramiento o expansión valorada en 104,81 millones de dólares. El valor actual neto completo, que incluye la opción de mejoramiento, asciende a 77,58 millones de dólares, lo que claramente aconseja, *ceteris paribus*, la implementación del camino de trocha.

Esta perspectiva de valoración por opciones provee la importante visión que la sociedad, representada por el sector público, en el caso de la toma de decisiones de inversión en proyectos de inversión pública, tiene la flexibilidad para responder a la "experiencia ganada" y adaptar sus decisiones conforme se revele nueva información durante los dos primeros años de implementación del camino de ripio y verificar, en el momento t_1 , si los beneficios fueron los inicialmente estimados. Si el camino de trocha (ripio) no entrega los beneficios esperados, no se sigue adelante con el camino pavimentado y se limitan los riesgos de pérdida de beneficios. El VAN negativo de 7,63 millones de dólares ha sido el precio que la sociedad ha debido pagar para adquirir la opción de expansión en la forma de un camino pavimentado. Sin embargo, al valorar la opción de compra e incorporarla en la decisión de inversión, la sociedad ahora es más rica en 77,8 millones de dólares.

9. Sistemas nacionales de inversión pública y metodologías de evaluación de proyectos

En esta sección se analiza la situación de los sistemas nacionales de inversión pública (SNIP) y, en particular, cómo los gobiernos se organizan metodológicamente respecto del tratamiento de la evaluación de los proyectos de inversión pública. Los gobiernos trabajan con sistemas de inversión pública que contemplan reglas y procedimientos para la programación de las inversiones, la preparación de los proyectos y, en especial, las metodologías para la evaluación de proyectos y programas de inversión. Estos sistemas se encuentran incorporados a las políticas públicas relacionadas con evaluación de proyectos públicos en varios países de América Latina, aunque con distintos grados de desarrollo. En efecto, Vizzio (2000) clasifica a los países en cuatro categorías:

- i) países de avanzada experiencia, categoría a la que sólo responde Chile, ii) países de experiencia incipiente, donde sólo clasifica Colombia, iii) países con incierto inicio donde se incluye a Bolivia, Argentina y Perú, en ese orden y (iv) el resto, que incluye a todos los demás, donde en la asignación de recursos para inversión pública prima la discrecionalidad (Vizzio, 2000: 27).

Una visión muy completa del panorama global sobre las características institucionales, metodológicas, operativas e instrumentales más importantes de los SNIP en cuatro países federados de América Latina, se encuentra en el trabajo de Pacheco y Ortegón (2005). Los autores analizan los casos de Argentina, Brasil, México y Venezuela, y concluyen que existen importantes diferencias en la forma de implementar los SNIP en los países unitarios y en los países federativos. Asimismo, realizan un extenso análisis del caso de España, en particular de Andalucía. En España existe un alto grado de descentralización, razón por la cual para el análisis de los sistemas de inversión pública es necesario distinguir al Estado propiamente como tal, a las Comunidades Autónomas (CA) y a las ciudades con Estatuto de Autonomía. Esto hace que, a diferencia de muchos de los países latinoamericanos, en el caso español no exista un SNIP. La inversión pública se inscribe dentro de los mecanismos generales de la economía, en su sistema de planificación y en su sistema presupuestario. En el nivel estatal, la institución encargada de la evaluación ex ante de los programas y proyectos corresponde al Ministerio de Economía y Hacienda; y en el caso de las CA, es muy variada, por el alto grado de autonomía de cada comunidad en organizar y evaluar su gestión económica. Sin embargo, en todos los casos, las técnicas de costo-beneficio son las que prevalecen y los análisis de riesgos en las evaluaciones solamente se realizan a las inversiones que se materializan mediante concesiones. Por su parte, en Ortegón y Pacheco (2004) se ha desarrollado un análisis comparativo entre los SNIP de los países de Centroamérica, donde Costa Rica muestra el mayor grado de avance.

En los Estados Unidos, el "SNIP" está regulado por la *Government Performance and Result Act of 1993-GRAP* (Ley de Cumplimiento y Resultados del Gobierno de 1993) y por un conjunto de circulares complementarias que conforman el marco general metodológico para el tratamiento formal de la inversión pública. Por lo tanto, existe un conjunto de normas aplicables a todos los procedimientos y evaluaciones de gastos e inversiones de capital. En estos procedimientos, que enfatizan que la evaluación social debería incluir los beneficios y los costos esperados para la sociedad, se incluyen los efectos en la distribución del ingreso. La metodología propone la forma en que se deben tratar las tasas de descuentos, nominales y reales, y define una secuencia de tasas para distintos períodos de vida del proyecto o programa de inversión. Asimismo, se introduce el concepto de precio sombra del capital, de tal forma de capturar los efectos que se producen en la asignación de recursos de la economía. La incertidumbre tiene un tratamiento explícito en la metodología, pues en los reportes se incorporan los análisis de sensibilidad y de riesgos de las variables subyacentes que componen el modelo de evaluación costo-beneficio. Estos análisis deben incluir la estimación de la distribución de probabilidades, la identificación y la estimación de los riesgos relevantes, y el uso de métodos de simulaciones estocásticas, si fuera posible y necesario. Sin embargo, la metodología no hace mención alguna al uso de la flexibilidad mediante las opciones reales en la evaluación de los proyectos de inversión públicos.

En el caso de Gran Bretaña, el sistema de inversión pública se regula por *The Green Book: Appraisal and Evaluation in Central Government*, que es administrado por el HM Treasury. Dicho documento muestra, de manera completa, las guías para la evaluación de proyectos y programas conducidos por el sector público; en particular, establece cómo las evaluaciones económicas, financieras, medioambientales y sociales deben combinarse para la evaluación de programas y proyectos públicos. Las actividades de evaluación cubiertas por el *Green Book* están definidas en programas de desarrollo gubernamentales, proyectos de inversión pública, uso y disposición de activos existentes, diseño de regulaciones específicas y decisiones de inversión en contrataciones en servicios, activos y bienes donde el sector privado es el principal proveedor. Los dos principales métodos de evaluación que se definen son: el análisis costo-beneficio y el análisis de costo-efectividad, el primero para medir valor económico agregado y el segundo para determinar el mínimo costo. La incertidumbre y el análisis de riesgo en los programas y proyectos se incorporan por medio de los procesos de identificación, asignación, administración, control y medición, mediante el uso de árboles binomiales y el análisis de Monte Carlo. En este sentido, un análisis de inversiones irreversibles es sugerido, principalmente, para el caso de proyectos que tengan impactos directos en la destrucción de recursos naturales y en edificios históricos. En estos casos, se sugiere que se incorporen opciones de retraso y, especialmente, que se evalúen los beneficios de incorporar la flexibilidad para responder a condiciones en el futuro. Además, los análisis de riesgos e incertidumbre se tratan de manera especial en un segundo documento: *The Orange Book. Management of Risk: Principles and Concepts*

(HM Treasury, 2004). Sin embargo, a pesar de que las metodologías incorporan de manera importante el análisis de riesgo e incertidumbre, y con la sugerencia respecto del tema de la irreversibilidad en los proyectos, en el caso británico, el análisis de opciones reales no se incorpora de manera explícita. Las experiencias de Canadá y la Unión Europea son revisadas en Pearce et ál. (2007).

En América Latina, Chile tiene el sistema de inversiones más antiguo de la región³⁶. El Sistema Nacional de Inversiones (SNI) está basado en una serie de metodologías y procedimientos para distintos sectores de la economía, que requieren contar con una evaluación socioeconómica de proyectos para poder acceder a ser financiados con recursos públicos. En función de la evaluación social, se priorizan y se asignan recursos fiscales para inversión y los programas públicos. Las metodologías de evaluación social de proyectos administradas por el Ministerio de Planificación y Cooperación (MIDEPLAN) están divididas en tres grandes grupos: i) Las que determinan los beneficios sociales sobre la base de la mayor disponibilidad del bien o servicio en el mercado; aquí se incluyen agua potable, electrificación residencial, riego, saneamiento de título y telefonía rural. ii) Las que determinan beneficios por la liberación de recursos, se incluyen aeropuertos, defensas fluviales, informática, edificación pública, mantenimiento vial, transporte caminero y vialidad urbana. iii) Las que determinan beneficios mediante ahorro de recursos y mínimo costo de producción, se incluyen alcantarillado, educación, justicia, pavimentación de poblaciones y salud.

Una primera restricción importante es que la evaluación social y, por lo tanto, el SNI no consideran el riesgo subyacente asumido por el Estado en el proceso de construcción y operación de inversión y programas públicos en los sectores productivos (transporte, saneamiento, energía, riego) y sociales (vivienda, justicia, salud, educación).

Asimismo, la valorización de la flexibilidad que el sector público puede tener en el desarrollo de una inversión –por ejemplo, al desear alterar la escala de producción, ampliar la dimensión de los proyectos, extender los plazos de ejecución de la inversión, realizar la inversión por etapas, abandonar el proyecto en cierta etapa definida si las condiciones así lo ameritan e/o incorporar opciones estratégicas de crecimiento futuro– no está presente en la preparación ni evaluación de los proyectos.

Por su parte, a partir del año 2001, por mandato de ley, en el Perú opera el Sistema Nacional de Inversión Pública (SNIP), administrado por el Ministerio de Economía y Finanzas (MEF). La legislación vigente establece que la totalidad de las inversiones públicas deben pasar obligatoriamente por el SNIP, incluso las que corresponden a proyectos de infraestructura. Esto significa que cada proyecto debe atravesar fases de perfil, prefactibilidad y factibilidad, mediante

36 El análisis de los sistemas utilizados en otros países de América Latina puede ser encontrado en Vizzio (2000).

las cuales se desarrolla su formulación y evaluación, de conformidad con una metodología preestablecida por el MEF. En el caso particular de la evaluación social, los proyectos públicos pueden ser valorizados en su impacto social por medio del análisis costo-beneficio o costo-efectividad. El objetivo de este proceso es asegurar que los recursos públicos se destinen a inversiones que generen un beneficio neto social a las poblaciones involucradas y al país, además de garantizar la sostenibilidad de dichas inversiones en el mediano y largo plazo. Cabe señalar que la evaluación de estos proyectos por la metodología SNIP, en ningún caso involucra el análisis de riesgo ni tampoco el análisis de opciones reales.

En el cuadro 1 se muestra, de manera general, la caracterización de los últimos cinco sistemas presentados.

Cuadro 1. Sistemas de inversión pública

País	Administración	Metodologías principales	Tasa social de descuento	Impactos distributivos	Análisis de riesgo e incertidumbre	Opciones reales
España	Ministerio de Economía y Hacienda	a) Costo-beneficio b) Costo eficiencia	No se conoce	No requeridos	No requeridos	No
Estados Unidos	The White House	a) Costo-beneficio b) Costo eficiencia	Variable en función del horizonte de evaluación	Requeridos	Requerido de manera general	No
Reino Unido	HM Treasury	a) Costo-beneficio b) Costo eficiencia	Variable en función del horizonte de evaluación	Requeridos	Requerido de manera específica	No
Chile	MIDEPLAN	a) Costo-beneficio b) Costo eficiencia	Fija durante todo el horizonte de evaluación	No requeridos	No requerido	No
Perú	MEF	a) Costo-beneficio b) Costo eficiencia	Fija durante todo el horizonte de evaluación	No requeridos	No requerido	No

Elaboración propia.

La incorporación de la metodología de opciones reales a la evaluación socioeconómica de proyectos puede ser desarrollada siguiendo las siguientes etapas:

1. Identificar la racionalidad del proyecto de inversión en un contexto de incertidumbre, y valorar los costos e inversiones mediante el uso de los precios sociales relevantes.
2. Identificar las principales fuentes de riesgo del proyecto y, particularmente, las variables subyacentes.
3. Aplicar el análisis costo-beneficio de la forma tradicional, pero con los ajustes respectivos de riesgo en las variables que se consideren aleatorias, ya sea por ajustes en los flujos de caja o en la tasa de descuento.

4. Identificar y formalizar, dentro del horizonte de evaluación del proyecto, las opciones reales de flexibilidad operativa, estratégicas y de crecimiento.
5. Elegir el método de valorización de la(s) opción(es) real(es) y realizar un nuevo análisis costo-beneficio, de tal forma de valorarlas en su conjunto. Si es necesario, lo anterior se complementa con variables cualitativas y se utiliza alguna metodología de decisión multicriterio.
6. Preparar un reporte con los resultados obtenidos y, en especial, con los pasos a seguir por parte del sector público para la administración activa de las opciones reales identificadas y valoradas. Para ello, se debe tomar en cuenta el proceso por seguir para el ejercicio de la opción en su tiempo de expiración o su interrelación funcional con otras opciones reales del proyecto.

Para que se cumpla lo anterior, resulta central que el sistema de inversión que se implemente incorpore, de manera explícita, una guía metodológica para que los profesionales analistas de proyectos puedan realizar sus evaluaciones sociales incluyendo el valor de las opciones reales.

10. Recomendaciones de futuras áreas de investigación

Los resultados mostrados en el trabajo se han basado en la consistencia de análisis conceptuales sustentados en revisión de literatura. Para complementar lo anterior, una primera línea de investigación deseable es avanzar en el desarrollo de demostraciones formales que permitan verificar efectos de la flexibilidad –que se expresa, por ejemplo, en opciones reales de infraestructura pública– en la economía, en el crecimiento económico, en el mercado de capitales y en el bienestar de la sociedad. Asimismo, en extender el concepto del valor de la flexibilidad que la sociedad dispone bajo un enfoque costo-beneficio a otros mercados; por ejemplo, el mercado del trabajo. Como segunda línea resultaría atractivo e ilustrativo estudiar y obtener conclusiones de su implementación sobre la base de experiencias reales, siguiendo la metodología de estudio de casos (Yin, 1984; Eisenhardt, 1989; Creswell, 2003).

Para la primera línea de investigación, se puede fundamentar analíticamente por qué es necesario complementar la metodología tradicional de costo-beneficio con el uso de opciones reales mediante dos pruebas. La primera, que se puede denominar *prueba débil*, asume por analogía que si el método del VAN es usado en evaluaciones de inversiones privadas y en ese contexto es incompleto, entonces, también el método falla en la evaluación de inversiones públicas (prueba de lógica transitiva y del absurdo). La segunda se denomina *prueba fuerte* porque se puede desarrollar analíticamente mediante un modelo matemático de crecimiento endógeno, que vincule opciones reales con crecimiento económico y crecimiento con evaluación social –es decir, creación de riqueza–. Como se ha señalado, los modelos de crecimiento endógeno –también conocidos como “modelos schumpeterianos”, en alusión al economista

austriaco Joseph Schumpeter– son ampliamente usados en el estudio de los microfundamentos de la macroeconomía y tratan de explicar, analizar y presentar los factores que pueden acumularse para permitir un proceso de acumulación autosostenido o un crecimiento sostenible de largo plazo. En estos modelos aparecen factores como el capital físico privado y el capital público de infraestructura (modelos AK; Romer, 1986; Barro, 1990) y los factores como el capital humano y el capital inmaterial de conocimiento tecnológico (modelos I+D; Lucas, 1988; Aghion y Howitt, 1992). La forma de solución analítica de estos modelos es mediante la aplicación de técnicas de control óptimo y programación dinámica (Chiang, 1992; Leonard y Van Log, 1992; Cerdá, 2001). También sería interesante vincular formalmente las opciones reales con la teoría de preferencia de los estados.

Respecto de la segunda línea de investigación, probablemente el área más fértil de estudios de casos reales y de propuestas de desarrollos futuros es la definición y la valoración de las opciones reales de infraestructura en contratos de largo plazo de asociación pública-privada (por ejemplo, concesiones) (Hemming, 2006; Hart, 2003; Yescombe, 2007). También resultaría importante analizar la disposición y los impactos en las organizaciones públicas, especialmente de América Latina, de generar una innovación de procesos en los cambios metodológicos para analizar y evaluar los proyectos de inversión público bajo este enfoque.

Finalmente, una línea de investigación complementaria es vincular la teoría de juegos y las opciones reales bajo una perspectiva de políticas públicas (Smit y Trigeorgis, 2004), particularmente para las opciones que implican flexibilidad estratégica, y en consecuencia estudiar las propiedades de los equilibrios que se determinen en el sentido propuesto por Nash. En algunos proyectos de infraestructura pública, especialmente los de transporte, existen opciones compuestas. Es decir, opciones sobre opciones, donde el activo subyacente sobre el que se tiene el derecho de compra o venta es, asimismo, una opción (Geske, 1979). Cuando el resultado de un proyecto A depende del resultado del proyecto B, y el resultado del B depende del resultado del proyecto A, probablemente, una solución de equilibrio sea no hacer A y no hacer B. Si introducimos el concepto de juegos y opciones en estos proyectos, la solución de equilibrio puede cambiar.

Conclusiones

En el presente documento se ha desarrollado la idea de que es posible y necesaria la aplicación de la metodología de opciones reales a la evaluación social de proyectos, como complemento del tradicional análisis costo-beneficio, en casos donde la incertidumbre y la flexibilidad son importantes. Bajo esta metodología es posible desarrollar proyectos que de otra manera no son realizados, teniendo en cuenta las recomendaciones que se derivan de las metodologías tradicionales o, alternativamente, se evite la implementación de

proyectos de inversión pública, dadas las recomendaciones del criterio tradicional.

Lo anterior está fundamentado por el hecho de que la existencia y el ejercicio de la flexibilidad, materializada en el derecho pero no en la obligación de emprender cierta acción, generan un impacto positivo en el crecimiento económico. La flexibilidad es un activo de los agentes económicos y, como tal, debe valorarse para medir el impacto en el aumento de bienestar de la sociedad. La flexibilidad de la que dispone el sector público, formalmente escrita en contratos de largo plazo, en donde se especifiquen y se precisen opciones reales, completa mercados en el sentido de Arrow-Debreu.

En consecuencia, al igual que en el caso de la evaluación privada de proyectos de inversión bajo incertidumbre –donde el criterio del VAN tradicional es incompleto porque no considera el valor de la flexibilidad gerencial y sus correspondientes opciones reales–, en el caso de la evaluación social de proyectos de inversión pública también el criterio del VAN es incompleto.

De esta manera, la incorporación de la teoría de opciones reales a la metodología de decisión de proyectos de inversión pública incrementa la posibilidad de considerar una cartera de proyectos públicos Pareto-eficientes, donde la sociedad no puede elegir ningún proyecto adicional que no haya sido contemplado con anterioridad o que no esté ya presente en la cartera sin empeorar su posición, debido a la utilización en forma adecuada de las opciones reales.

La teoría de las opciones reales no sustituye la evaluación socioeconómica y es absolutamente complementaria. En este sentido, su aplicación es una condición necesaria pero no suficiente para valorar correctamente proyectos de inversión pública. Por ello, se mantienen las críticas o desventajas al enfoque costo-beneficio, las que han sido determinadas por diversos economistas.

Desde el punto de vista práctico, la utilización de opciones reales en las metodologías de evaluación social de que disponen los gobiernos, permitirá avanzar de manera más directa en la recomendación para la implementación de proyectos públicos.

Por lo tanto, es importante ejercer y valorar la flexibilidad que el sector público, en representación de la sociedad, tiene en el desarrollo de sus proyectos y programas de inversión pública al querer, por ejemplo, alterar la escala de producción; ampliar la dimensión de los proyectos; extender (acortar) los plazos de ejecución; realizar la inversión por etapas; abandonar el proyecto en cierto momento, si las condiciones del entorno así lo ameritan; sustituir la tecnología por otra; introducir elementos para compartir riesgos; y optimizar el desarrollo de la relación contractual para la ejecución de un proyecto. Además, la sociedad debe tener la capacidad necesaria para responder a la incertidumbre con la flexibilidad que se requiere, en especial en aquellos proyectos que

representan decisiones estratégicas para el país e implican un importante uso de recursos económicos.

De esta manera, el valor de la flexibilidad del Gobierno es primordial porque, de manera explícita, se reconoce que ella reacciona a la nueva información y se incorpora en el momento de la evaluación del proyecto para posteriormente ejercer o no la o las opciones identificadas. Las opciones reales en los contratos de largo plazo de asociación pública-privada tienen una particular importancia para el desarrollo de infraestructura y servicios.

Referencias bibliográficas

- ACS, Z.; AUDRETSCH, D., BRAUNERHJELM, P. y CARLSSON, B. 2004. *The missing link: The knowledge filter and entrepreneurship in endogenous growth*. Paper n.º 0805. Alemania, Jena: Group Entrepreneurship, Growth and Public Policy, Max Planck Institute, Nov.
- AGÉNOR, P. R. 2005. *Infrastructure Investment and Maintenance Expenditure: Optimal Allocation Rules in a Growing Economy*. Working Paper n.º 60. Manchester: Centre for Growth and Business Cycle Research, University of Manchester.
- AGÉNOR, P. R. y MORENO-DODSON, B. 2006. *Public infrastructure and growth: New channels and policy implications*. The World Bank Policy Research Working Paper n.º 4064. Washington, D.C.: The World Bank, Nov.
- AGÉNOR, P. R. y YILMAZ, D. 2006. *The tyranny of rules: Fiscal discipline, productive spending, and growth*. Working Paper n.º 73, Centre for Growth and Business Cycle Research.
- AGHION, P. y HOWITT, P. 1992. A model of growth to creative destruction. *Econometrica*. Vol. 60, n.º 2, págs. 323-351.
- _____. 1998. *Endogenous growth theory*. Cambridge, MA: MIT Press.
- AMRAM, M. y KULATILAKA, N. 1999. *Real option. Managing strategic investment in an uncertain world*. Boston: Harvard Business School Press.
- ANDERSON, J. 1989. *Forecasting, uncertainty and public project appraisal*. Working Paper Series, n.º 154. Washington, D.C.: The World Bank.
- ANDERSON, J.; BARNUM, H., BELLI, P., DIXON, J. y JEE-PENG, T. 1997. *Handbook of economic analysis of investment operations*. Washington, D.C.: The World Bank, Operations Policy Department Learning and Leadership Center.
- _____. 2001. *Economic analysis of investment operations: Analytical tools and practical applications*. Washington, D.C.: The World Bank Institute.
- ANTIKAROV, V. y COPELAND, T. 2001. *Real options: A practitioner's guide*. Nueva York: Texere.
- ARROW, K. J. 1951. *Social choice and individual value*. Nueva York: Wiley.
- _____. 1962. The economic implications of learning by doing. *The Review of Economics Studies*. Vol. 29, n.º 3, págs. 155-173.
- _____. 1964. The role of securities in the optimal allocation of risk bearing. *The Review of Economics Studies*. Vol. 31, n.º 2, págs. 91-97.
- ARROW, K. J. y FISHER, A. 1974. Environmental preservation, uncertainty, and irreversibility. *The Quarterly Journal of Economics*, Vol. 88, n.º 2, págs. 312-319.

- ARROW, K. J. y HAHN, F. H. 1971. *General competitive analysis*. San Francisco: Holden-Day.
- ARROW, K. J. y LIND, D. 1970. Uncertainty and the evaluation of public investment decisions. *American Economic Review*. Vol. 60, n.º 2, págs. 364-378.
- ARROW, K.; SOLOW, R., PORTNEY, P. R., LEAMER, E. E., RADNER, R. y SCHUMAN, H. 1993. Report of the National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). Panel on contingent valuation. *Federal Register*. Vol. 58, n.º10, págs. 4602-4614.
- ASCHAUER, D. 1989a. Is public expenditure productive? *Journal of Monetary Economics*. Vol. 23, n.º 2, págs. 177-200.
- _____. 1989b. Public investment and productivity growth in the Group of Seven. *Economic Perspectives*. Vol. 13, n.º 5, págs. 17-25.
- _____. 1989c. Does public capital crowd out private capital?. *Journal of Monetary Economics*. Vol. 24, n.º 2, págs. 171-188.
- BACKHAUS, U. 2000. An engineer's view of economics: Wilhelm Launhardt's contributions. *Journal of Economics Studies*. Vol. 27, n.º 4/5, págs. 424-476.
- BAIDYA, T. y BRANDÃO, L. E. 2000. An application of Arrow and Debreu pure state contingent securities in real options theory. Brasil: Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Mimeo.
- BALDWIN, C. y CLARK, K. 1994. Capital-Budgeting systems and capabilities investments in US companies after the Second World War. *Business History Review*. Vol. 68, Spring, págs. 73-109.
- BANCO INTERAMERICANO DE DESARROLLO (BID). 2006. América Latina debe recuperar inversión en infraestructura. Noticias del BID/Comunicados de Prensa, 2 de abril. Disponible en: <<http://www.iadb.org/news/detail.cfm?artid=2979&language=sp&id=2979&CFID=16591119&CFTOKEN=90445270>>.
- BARRO, R. J. 1984. *Rules versus discretion*. NBER Working Paper Series, n.º 1473. Cambridge, Mass: National Bureau of Economic Research.
- _____. 1990. Government spending in a simple model of endogenous growth. *Journal of Political Economy*. Vol. 98, n.º s5, págs. s103-s125.
- BARRO, R. J. y GORDON, D. 1983. Rules, discretion and reputation in a model of monetary policy. *Journal of Monetary Economics*. Vol. 12 n.º 1, págs. 101-121.
- BARRO, R. J. y SALA-I-MARTÍN, X. 1995. *Economic growth*. Nueva York: Mc Graw Hill.
- BAUMOL, W. 1968. Entrepreneurship in economic theory. *American Economic Review*. Vol. 58, n.º 2, págs. 64-71.

- BAUMOL, W.; PANZAR, J. y WILLIG, R. 1982. *Contestable markets and the theory of industry structure*. Nueva York: Harcourt Brace.
- BELLI, P. 1996. *Is economic analysis of projects still useful?* Policy Research Working Paper, n.º 1689. Washington, D.C.: The World Bank, Dec.
- BENAROCH, M. 2002. Managing information technology investment risk: A real options approach. *Journal of Management Information Systems*. Vol. 19, n.º 2, págs. 43-84.
- BERGSON, A. 1938. A reformulation of certain aspects of welfare economics. *Quarterly Journal of Economics*. Vol. 52, n.º 2, Feb. págs. 310-334.
- BLACK, F. y SCHOLES, M. 1973. The pricing of options and corporate liabilities. *Journal of Political Economy*. Vol. 81, n.º 3, págs. 637-654.
- BOARDMAN, A.; GREENBERG, D., VINING, A. y WEIMER, D. 2001. *Cost-Benefit analysis: Concepts and practice*. Segunda edición. Nueva Jersey: Prentice Hall.
- BOER, P. 2002. *The real options solution: Finding total value in a high-risk model*. Nueva Jersey: John Wiley & Sons, Inc.
- BOGUE, M. y ROLL, R. 1974. Capital budgeting of risky projects with imperfect markets for physical capital. *Journal of Finance*. Vol. 29, n.º 2, págs. 601-613.
- BOYLE, P. 1977. Options: A Monte Carlo approach. *Journal of Financial Economics*. Vol. 4, n.º 3, págs. 323-338.
- BRACH, M. 2003. *Real options in practices*. Nueva Jersey: John Wiley & Sons, Inc.
- BRAQUEZEC, Y. 2003. *Les options réelles: Investissement, structure du capital et risque de crédit*. Francia: Economica.
- BREALEY, R. y MYERS, S. 2000. *Principles of corporate finance*. Sexta edición. Mc Graw-Hill.
- BRENNAN, M. J. y SCHWARTZ, E. 1985a. Evaluating natural resource investments. *The Journal of Business*. Vol. 58, n.º 2, págs. 135-157.
- _____. 1985b. A new approach to evaluating natural resource investments. *Midland Corporate Finance Journal*. Vol. 3, n.º 1, págs. 37-47.
- BRENNEMAN, A. y KERF, M. 2002. Infrastructure and poverty linkages: A literature review. Documento no publicado. Washington, D.C.: The World Bank.
- BUCHANAN, J. 1965. An economic theory of clubs. *Economica, New Series*. Vol. 32, Feb., págs. 1-14.
- BUBNICKI, Z. 2005. *Modern control theory*. Berlín: Springer-Verlag.

- CARSON, R. 1991. Constructed markets. En: Braden, J. y Kolstad, C. (eds.). *Measuring the demand for environmental commodities*. Amsterdam: North-Holland.
- CERDÁ, E. 2001. *Optimización dinámica*. Nueva Jersey: Prentice Hall.
- COASE, R. 1960. The problem of social cost. *Journal of Law and Economics*. Vol. 3, n.º 1, págs. 1-44.
- COHEN, J. y MORRISON, C. 2004. Public infrastructure investment, interstate spatial spillovers, and manufacturing costs. *Review of Economics and Statistics*. Vol. 86, n.º 2, págs. 551-560.
- COPELAND, T. y WESTON, J. F. 1999. *Financial theory and corporate policy*. Tercera edición. Boston, MA: Addison Wesley.
- CORDES, C.; RICHERSON, P., MCELREATH, R. y STRIMLING, P. 2006. *How Does Opportunistic Behavior Influence Firm Size?* The Papers on Economics and Evolution, n.º 0618. Alemania, Jena: Max Planck Institute.
- CORNES, R. y SANDLER, T. 1986. *The theory of externalities, public goods and club goods*. Cambridge: Cambridge University Press.
- COX, J.; ROSS, S. y RUBINSTEIN, M. 1979. *Option pricing: A simplified approach*. *Journal of Financial Economics*. Vol. 7, n.º 3, Sep., págs. 229-263.
- CRAVEN, B. e ISLAM, S. 2005. *Optimization in economics and finance: Some advances in non-linear, dynamic, multi-criteria and stochastic models*. Países Bajos: Springer.
- CRESWELL, J. 2003. *Research design: Qualitative, quantitative and mixed methods approaches*. Segunda edición. Beverly Hills, CA: Sage.
- CHANDLER, A. 1977. *The visible hand: The managerial revolution in American business*. Cambridge, Mass: Belknap Press.
- CHENG, J. 2006. Optimal R&D expenditure-A value maximization approach. *International Research Journal of Finance and Economics*. N.º 5, págs. 178-185.
- CHIANG, A. 1992. *Elements of dynamic optimization*. Nueva York: Mc Graw-Hill.
- CHIANG, C. y WAINWRIGHT, K. 2006. *Métodos fundamentales de economía matemática*. Cuarta edición. Mc Graw-Hill.
- CHOI, Y. y SHEPHERD, D. 2002. Honeymoons and the entrepreneurial process: A real options perspective. Mimeo.
- DASGUPTA, P.; MARGLIN, S. y SEN, A. 1972. *Guidelines for project evaluation*. Nueva York: United Nations Industrial Development Organization.
- DAVIS, R. 1963. The value of outdoor recreation: An economic study of the Maine woods. Tesis doctoral. Cambridge, MA: Harvard University.

- DEAN, J. 1951. *Capital budgeting*. Nueva York: Columbia University Press.
- DEBREU, G. 1959. *Theory of value. An axiomatic analysis of economic equilibrium*. Nueva York: Wiley.
- DE HAAN, J.; ROMP, W. y STURM, J. E. 2007. Public capital and economic growth: Key issues for Europe. Documento presentado en el seminario internacional del FMI Strengthening Public Investment and Managing Fiscal Risks from Public-Private Partnerships. Budapest, 7-8 de marzo.
- DE RUS, G. 2004. *Análisis costo beneficio: Evaluación económica de políticas públicas y proyectos de Inversión*. Segunda edición. España: Ariel.
- DEVARAJAN, S.; SQUIRE, L. y SUTHIWART-NARUEPUT, S. 1997. Beyond rate of return: Reorienting project appraisal. *The World Bank Research Observer*. Vol 12. n.º 1, págs. 35-46.
- DIXIT, A. 1989. Entry and exit decisions under uncertainty. *Journal of Political Economy*. Vol. 97, n.º 3, págs. 620-638.
- DIXIT, A. y Pindyck, R. 1994. *Investment under uncertainty*. Princeton, NJ: Princeton University Press.
- DOMAR, E. 1946. Capital expansion, rate of growth, and employment. *Econometrica*. Vol. 14, n.º 2, págs. 137-147.
- DULMAN, S. 1989. The development of discounted cash flow techniques in US industry. *Business History Review*. Vol. 63, Autumn, págs. 555-587.
- DUPUIS, J. 1844. De la mesure de l'utilité des travaux publics. *Annales des ponts et chaussées*. Segunda serie, 8. París: École des Ponts et Chaussées, págs. 332-375. Traducido por Barback, R. H. 1952. On the measurement of the utility of public works. *International Economic Association Papers*. Vol. 1, n.º 2, págs. 83-110.
- EICHBERGER, J. y HARPER, I. 1997. *Financial economics*. Oxford: Oxford University Press.
- EISENHARDT, K.M. 1989. Building theories from case study research. *The Academy of Management Review*. Vol. 14, n.º 4, págs. 532-550.
- ELLIASSON, G. y HENREKSON, M. 2003. *William J. Baumol: An Entrepreneurial Economist on the Economics of Entrepreneurship*. Small Business Economics Working Paper Series in Economics and Finance, n.º 532. Estocolmo, Suecia: Stockholm School of Economics.
- FISHER, A. 2000. Investment decision under uncertainty and option value in environmental economics. *Resource and Energy Economics*. Vol. 22, n.º 3, págs. 197-224.
- FONTAINE, E. 1973. *Evaluación social de proyectos*. Santiago, Chile: Universidad Católica de Chile.

- FOSS, N. y KLEIN, P. 2005. Entrepreneurship and the economic theory of the firm: Any gains from trade?. En: Alvarez, S. A.; Agarwal, R. y Sorenson, O. (eds.) *Handbook of entrepreneurship: Disciplinary perspectives*. Nueva York: Springer Science + Business Media Inc., págs.55-80.
- FREDBERG, T. 2007. Real options for innovation management. *International Journal of Technology Management*. Vol. 39, n.º1/2, págs. 72-85.
- GERALD, A. 2007. *Introducción a los modelos de crecimiento económico exógeno y endógeno*. Edición electrónica gratuita proporcionada por Eumed.net (España, Universidad de Málaga) <www.eumed.net/libros/2007a/243/>.
- GESKE, R. 1979. The valuation of compound options. *Journal of Financial Economics*. Vol. 7, n.º 1, págs. 63-81.
- GÓMEZ-IBAÑEZ, J. 2003. *Regulating infrastructure monopoly contract and discretion*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- GOWDY, J. 2004. The revolution in welfare economics and its implications for environmental. Valuation and policy. *Land Economics*. Vol. 80, n.º 2, págs. 239-257.
- GRAHAM, D. 1981. Cost-Benefit analysis under uncertainty. *American Economic Review*. Vol. 71, n.º 4, págs. 715-725.
- GRAMLICH, E. 1994. Infrastructure investment: A review essay. *Journal of Economic Literature*. Vol. 32, n.º 3, págs. 1176-1196.
- GROSSMAN, S. y HART, O. 1986. The costs and benefits of ownership: A theory of vertical and lateral integration. *Journal of Political Economy*. Vol. 94, n.º 4, págs. 691-719.
- GROUT, P. 2002. *Public and private sector discount rates in public-private partnerships*. CMPO working paper series, n.º 03/059. Bristol: Centre for Market and Public Organisation, University of Bristol.
- GUIVERNAU, J. M. 2005. Estudio de la flexibilidad empresarial desde la perspectiva de las opciones reales. Tesis Doctoral. España: ESADE - Universidad Ramón Llull.
- GUPTA, S.; SCHILLER, C., MA, H. y TIONGSON, E. 2001. Privatization, labor and social safety nets. *Journal of Economic Surveys*. Vol. 15, n.º 5, págs. 647-669.
- HANEMANN, M. 1984. Welfare evaluations in contingent valuation experiments with discrete responses. *American Journal of Agricultural Economics*. Vol. 66, n.º 3, págs. 332-341.
- HANNAFEY, F. .2003. Entrepreneurship and ethics: A literature review. *Journal of Business Ethics*. Vol. 46, n.º 2, Aug. 2003.
- HABERGER, A. 1973. *Project evaluation: Collected papers*. Nueva York: Mac Millan.

- _____. 1997. New frontiers in project evaluation? A comment on Devarajan squire, and Suthiwart-Narueput. *The World Bank Research Observer*. Vol.12, n.º 1, págs. 73-79.
- HARROD, R. 1939. An essay in dynamic theory. *Economic Journal*. Vol. 49, Mar., págs. 14-33.
- HART, O. 1975. On the optimality of equilibrium when the market structure is incomplete. *Journal of Economic Theory*. Vol. 11, n.º 3, págs. 418-443.
- _____. 1995. *Firms, contracts, and financial structure*. Oxford: Oxford University Press.
- _____. 2003. Incomplete contracts and public ownership: Remarks and an application to the public-private partnerships. *The Economic Journal*. Vol. 113, n.º 486, págs. c69-c76(1).
- HEMMING, R. 2006. *Public-Private partnerships, government guarantees and fiscal risk*. Washington, D.C.: FMI.
- HENRY, C. 1974. Investment decision under uncertainty: The irreversibility effect. *American Economic Review*. Vol. 64, n.º 6, págs. 1006-1018.
- HICKS, J. R. 1939. Foundations of welfare economics. *The Economic Journal*. Vol. 49, Dec., págs. 696-712.
- HIRSHLEIFER, J. 1966. Investment decision under uncertainty: Applications of the state-preference approach. *Quarterly Journal of Economics*. Vol. 80, n.º 2, págs. 252-277.
- HM TREASURY. 2003. *The green book: Appraisal and evaluation in central government*. Reino Unido: HM Treasury.
- _____. 2004. *The orange book. Management of risk: Principles and concepts*. Reino Unido: HM Treasury.
- HOWELL, S.; STARK, A., NEWTON, D., PAXSON, D., CAVUS, M., PEREIRA, J. y PATEL, K. 2001. *Evaluating corporate investment opportunities in a dynamic world*. Nueva Jersey: Prentice Hall.
- HULL, J. 2000. *Options, futures & other derivatives*. Cuarta edición. Nueva Jersey: Prentice Hall.
- HULTEN, Ch. 1996. *Infrastructure capital and economic growth: How well you use it may be more important than how much you have*. NBER Working Paper Series, n.º 5847. Cambridge, Mass: National Bureau of Economic Research.
- IRELAND, P. 1994. Supply-side economics and endogenous growth. *Journal of Monetary Economics*. Vol. 33, n.º 3, págs. 559-571.

- JENSEN, M.C. y MECKLING, W. 1976. Theory of the firm: Managerial behavior, agency costs and ownership structure. *Journal of Financial Economics*. Vol. 3, n.º 4, págs. 305-360.
- JOHNSON, T. y KAPLAN, R. 1987. *Relevance lost: The rise and fall of management accounting*. Boston, MA: Harvard Business School Press.
- KALAITZIDAKIS, P. y KALYVITIS, S. 2004. On the macroeconomic implications of maintenance in public capital. *Journal of Public Economics*. Vol. 88, n.º 3-4, págs. 695-712.
- KALDOR, N. 1939. Welfare propositions of economics and interpersonal comparisons of utility. *The Economic Journal*. Vol. 49, n.º 195, págs. 549-552.
- KESSIDES, C. 1996. A review of infrastructure's impact on economic development. En: Batten, D. F. y Karlsson, C. (eds.). *Infrastructure and the complexity of economic development*. Berlín: Springer Verlag.
- KESTER, W. C. 1984. Today's options for tomorrow's growth. *Harvard Business Review*. Vol 62, n.º 2, págs. 153-160.
- KING, R. y Levine, R. 1993.) Finance and growth: Schumpeter can be right. *The Quarterly Journal of Economics*. Vol. 108, n.º 3, págs. 718-737.
- KLEIN, P. 1999. Entrepreneurship and corporate governance. *Quarterly Journal of Austrian Economics*. Vol. 2, n.º 2, págs. 19-42.
- KOPP, R.; KRUPNICK, A. y MICHAEL, T. 1997. *Cost-Benefit analysis and regulatory reform: An assessment of the science and the art*. Discussion Paper n.º 97-19. Washington, D.C.: Resources for the Future.
- KORNAI, J. 1979. An appraisal of project appraisal. En: Boskin, M. J. (ed.). *Economics and human welfare: Essays in honor of Tibor Scitovsky*. Londres: Academic Press.
- KUHN, T. 1962. *La estructura de las revoluciones científicas*. México, D.F.: Fondo de Cultura Económica.
- KYDLAND, F. y PRESCOTT, E. 1977. Rules rather than discretion: The inconsistency of optimal plans. *The Journal of Political Economy*. Vol. 85, n.º 3, págs. 473-492.
- LAFFONT, J. J. y TIROLE, J. 1993. *A theory of incentives in procurement and regulation*. Cambridge, MA: The MIT Press.
- LEONARD, D. y VAN LONG, N. 1992. *Optimal control theory and static optimization in economics*. Cambridge, MA: Cambridge University Press.
- LINDAHL, E. 1958. Just taxation-a positive solution. En: Musgrave, R. y Peacock, A. (eds.). *Classics in the theory of public finance*. Londres: Macmillan.

- LINTNER, J. 1965. The valuation of risk assets and the selection of risky investments in stock portfolios and capital budgets. *Review of Economics and Statistics*. Vol. 47, n.º 1, págs. 13-37.
- LITTLE, I. M. D. y MIRRLEES, J. A. 1969. *Manual of industrial project analysis*. París: OECD Development Centre.
- LOAYZA, N.; FAJNZYLBER, P. y CALDERÓN, C. 2004. *Economics growth in Latin America and The Caribbean: Stylized facts, explanations, and forecasts*. Banco Central de Chile Working Papers n.º 265. Santiago, Chile: Banco Central de Chile
- LOMELÍ, H. y RUMBOS, B. 2001. *Métodos dinámicos en economía*. México, D.F.: Instituto Tecnológico Autónomo de México-ITAM.
- LONGSTAFF, F. A. y SCHWARTZ, E. 2001. Valuing American options by simulation: A simple least-squares approach. *The Review of Financial Studies*. Vol. 14, n.º 1, págs. 113-147.
- LORIE, J. y SAVAGE, L. 1955. Three problems in rationing capital. *The Journal of Business*. Vol. 28, n.º 4, págs. 229-239.
- LUCAS, R. 1988. On the mechanics of economic development. *Journal of Monetary Economics*. Vol. 22, n.º 1, págs. 3-42.
- LUEHRMAN, T. A. 1998. Investment opportunities as real options: Getting started on the numbers. *Harvard Business Review*. Vol. 76, n.º 4, págs. 51-60.
- LUTZ, F. y SMITH, V. 1951. *The theory of investment of the firm*. Princeton, NJ: Princeton, University Press.
- MAJD, S. y PYNDICK, R. 1985. *Time to build, option value, and investment decisions*. NBER Working Paper Series, n.º 1654. Cambridge, Mass: National Bureau of Economic Research.
- MARÍN, J. y RUBIO, G. 2001. *Economía financiera*. Barcelona, España: Antoni Bosch.
- MARSHALL, A. 1920. *Principles of economics*. Londres: Macmillan.
- MASCAREÑAS, J. 1998. Las decisiones de inversión como opciones reales: un enfoque conceptual. Documentos de trabajo. Madrid, España: Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales, Universidad Complutense de Madrid.
- MASCAREÑAS, J.; LAMOTHE, P., LÓPEZ, L. F. y De Luna, W. 2004. *Opciones reales y valoración de activos*. Madrid: Prentice Hall.
- MASON, S. y MERTON, R. 1985. The role of contingent claims analysis in corporate finance. En: Altman, E. y Subrahmanyam, M. (eds.). *Recent advances in corporate finance*. Homewood, Illinois: Richard D. Irwin, Inc., págs. 7-54.
- MCDONALD, R. y SIEGEL, D. 1985. Investment and the valuation of firms when there is an option to shut down. *International Economic Review*. Vol. 26, n.º 2, págs. 331-349.

- _____. 1986. The value of waiting to invest. *Quarterly Journal of Economics*. Vol. 101, n.º 4, págs. 707-727. Reimpreso en: Schwartz, E. y Trigeorgis, L. (eds.). 2001. *Real options and investment under uncertainty: Classical readings and recent contributions*. Cambridge, MA: MIT Press, págs. 253-272.
- MC GRATH, R. 1996. Options and the entrepreneur: Towards a strategy theory of entrepreneurial wealth creation. *Proceeding of the Academy of Management*. Birmingham, AL: Academy of Management, págs. 101-105.
- MERTON, R. 1973. Theory of rational option pricing. *Bell Journal of Economics and Management Science*. Vol. 4, n.º 1, págs. 141-183.
- _____. 1974. On the pricing of corporate debt: The risk structure of interest rates. *The Journal of Finance*. Vol. 29, n.º 2, págs. 449-470.
- _____. 1977. An analytical derivation of the cost of deposit insurance and loan guarantee: An application of modern option pricing theory. *Journal of Banking and Finance*. Vol. 1, n.º 1, págs. 3-11.
- MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN Y COOPERACIÓN (Mideplan). 1994. *Preparación y presentación de proyectos de inversión*. Santiago, Chile: Mideplan, División de Planificación, Estudios e Inversiones.
- MONGRUT, S. y WONG, D. 2005. Un examen empírico de las practicas de presupuesto de capital en el Perú. *Estudios Gerenciales*. N.º 5, abr.-jun., págs. 95-111. Cali, Colombia: Universidad ICECI.
- MORRIS, H. 1988. *Entrepreneurial intensity: Sustainable intensity for individuals, organizations and societies*. Wesport, CT: Quorum Books.
- MUN, J. 2006. *Modeling risk: Applying Monte Carlo simulation, real options analysis, forecasting, and optimization techniques*. Nueva Jersey: John Wiley & Sons, Inc.
- MUNNELL, A. 1992. Infrastructure investment and economic growth. *Journal of Economic Perspectives*. Vol. 6, n.º 4, págs. 189-198.
- MYERS, S. C. 1977. Determinants of corporate borrowing. *Journal of Financial Economics*. Vol. 5, n.º 2, págs. 147-175.
- _____. 1987. Finance theory and financial strategy. *Midland Corporate Finance Journal*. Vol. 5, n.º 1 págs. 6-13.
- NAFUKHO, F. e IRAKI, W. 2004. Factors predicting entrepreneurship opportunities in the United States of America: 1969-2000. Public Policy Working Paper Series. Public Policy Ph. D. Program, University of Arkansas.
- NASH, C. 1993. A cost- benefit analysis of transport projects. En: Williams, A. y Giardina, E. (eds.). *Efficiency in the public sector: The theory and practice of cost-benefit analysis*. Estados Unidos: Edward Elgar.

- ORTEGA, P. y BARBER, P. 2003. Diseño de un estudio de valoración contingente aplicado a la seguridad ciudadana. En: *Anales de Economía Aplicada*. España: Asociación Española de Economía Aplicada (ASEPELT).
- ORTEGÓN, E. y PACHECO, J. F. 2004. *Los sistemas nacionales de inversión pública en Centroamérica: marco teórico y análisis comparativo multivariado*. Serie Manuales, n.º 34. Santiago de Chile: Comisión Económica para América Latina y el Caribe (Cepal).
- _____. 2005. *Los sistemas de inversión pública en Argentina, Brasil, México, Venezuela y España como caso de referencia*. Serie Manuales, n.º 40. Santiago de Chile: Comisión Económica para América Latina y el Caribe (Cepal).
- ORTEGÓN, E.; PACHECO, J. F. y ROURA, H. 2005. *Metodología general de identificación, preparación y evaluación de proyectos de inversión pública*. Serie Manuales, n.º 39. Santiago de Chile: Comisión Económica para América Latina y el Caribe (Cepal).
- PARTNERSHIPS VICTORIA. 2003. *Use of discount rates in the partnerships Victoria process*. Technical Note. Melbourne, Vic: State Government of Victoria.
- PEARCE, D.; ATKITSON, G. y MOURATO, S. 2007. *Cost-Benefit analysis and environment: Recent developments*. Francia: OECD (disponible también en francés).
- PHELPS, E. 1961. The golden rule of accumulation: A fable for growthmen. *American Economic Review*. Vol. 51, n.º 4, págs. 638-643.
- PINDYCK, R. 1988. Irreversible investment, capacity choice, and the value of the firm. *American Economic Review*. Vol. 78, n.º 5, págs. 969-985.
- PIGOU, A. 1920. *The economy of welfare*. Londres: Macmillan.
- PRIES, F.; ASTEBRO, T. y OBEIDI, A. 2001. *Economic analysis of R&D projects: Real option versus NPV valuation revisited*. Canadá: Department of Management Science, University of Waterloo.
- RAYO, S. y CORTÉS, A. 2004. Cómo valoran los directivos españoles proyectos con opciones reales (Capítulo 4). En: Herrerías, R. y Callejón, J. (eds.). *Programación, selección, control y valoración de proyectos. IV Reunión científica*. España: Universidad de Granada, págs. 65-94.
- REAL ACADEMIA ESPAÑOLA. 2007. *Diccionario de la Lengua Española*. 22.ª edición. Madrid, España: ESPASA-CALPE.
- REBELO, S. 1991. *Long-Run policy analysis and long-run growth*. NBER Working Paper Series, n.º 3325. Cambridge, Mass: National Bureau of Economic Research.
- RIOJA, F. 2003. The penalties of inefficient infrastructure. *Review of Development Economics*. Vol. 7, n.º 1, págs. 127-137.

- ROBICHEK, A. y MYERS, S. 1966. Conceptual problems in the use of risk-adjusted discount rates. *The Journal of Finance*. Vol. 21, n.º 4, págs. 727-730.
- ROGERS, M.; GUPTA, A. y MARANAS, C. 2002. Real options based analysis of optimal pharmaceutical research and development portfolios. *Industrial & Engineering Chemistry Research*. Vol. 41, n.º 25, págs. 6607-6620.
- ROMER, P. 1986. Increasing returns and long run growth. *Journal of Political Economy*. Vol. 94, n.º 5, págs. 1002-1037.
- _____. 1990. Endogenous technological change. *Journal of Political Economy*. Vol. 98, n.º 5, págs. s071-s102.
- ROMP, W. y DE HAAN, J. 2005. Public capital and economic growth: A critical survey. *EIB Papers*. Vol. 10, n.º 1, págs. 40-71.
- ROSS, S. 1973. The economic theory of agency: The principal's problem. *American Economic Review*. Vol. 63, n.º 2, págs. 134-139.
- _____. 1976. The arbitrage theory of capital asset pricing. *Journal of Economic Theory*. Vol. 13, n.º 3, págs. 341-360.
- ROTHBARD, M. 1985. Professor Hébert on Entrepreneurship. *Journal of Libertarian Studies*. Vol. 7, n.º 2, págs. 281-286. Reproducido en Rothbard, M. 1997. *The logic of action two: Applications and criticism from the Austrian school*. Aldershot, U.K.: Edward Elgar, págs. 245-253.
- SALA-I-MARTIN, X. 1994. *Apuntes de crecimiento económico*. Barcelona, España: Antoni Bosch.
- SAMUELSON, P. A. 1947. *Foundations of economic analysis*. Cambridge, MA: Harvard University Press (Edición ampliada, 1983).
- _____. 1964. Discussion. *American Economic Review. Papers and Proceedings of the Seventy-sixth Annual Meeting of the American Economic Association*. Vol. 54, n.º 3, págs. 93-96.
- SANZ, J. y HERRERO, L. 2006. Valoración de bienes públicos relativos al patrimonio cultural. Aplicación comparada de métodos de estimación y análisis de segmentación de demanda. *Hacienda Pública Española/Revista de Economía Pública*. Vol. 178, n.º 3, págs. 113-133.
- SCHUMPETER, J. 1982. (1911). *The theory of economic development: An inquiry into profits, capital, credit, interest, and the business cycle*. Edison, NJ: Transaction Publishers.
- SCHWARTZ, E. y TRIGEORGIS, L. 2003. *Real options and investment under uncertainty: Classical readings and recent contributions*. Cambridge, Boston: The MIT Press.

- SHANTAYANAN, D.; SQUIRE, L. y NARUEPUT, S. 1995. *Reviving project appraisal at the World Bank*. The World Bank Policy Research Working Paper, n.º 1496. Washington, D.C.: The World Bank.
- _____. 1997. Beyond rate of return: Reorienting project appraisal. *The World Bank Research Observer*. Vol. 12, n.º 1, págs. 35-46.
- SHARPE, W. 1964. Capital asset prices: A theory of market equilibrium under conditions of risk. *Journal of Finance*. Vol. 19, n.º 3, págs. 425-442.
- SICK, G. 1989. *Capital budgeting with real options*. Monograph Series in Finance and Economics, n.º 1989-3. Nueva York: Salomon Brothers Center for the Study of Financial Institutions, Stern School of Business, New York University.
- SMIT, H. y TRIGEORGIS, L. 2004. *Strategic investment: Real options and games*. Princeton, NJ: Princeton University Press.
- SOLOW, R. 1956. A contribution to the theory of economic growth. *Quarterly Journal of Economics*. Vol. 70, n.º 1, págs. 65-94.
- SQUIRE, L. 1989. Project evaluation in theory and practice. En: Chenery, H. y Srinivasan, T.N. (eds.). *Handbook of development economics*. Vol. II. Elsevier Science Publishers, B.V., págs. 1093-1137.
- SQUIRE, L. y VAN DER TAK, H. G. 1975. *Economic analysis of projects*. Baltimore: Publicado por The World Bank (por) Johns Hopkins University Press.
- SWAN, T. W. 1956. Economic growth and capital accumulation. *The Economic Record*. Vol. 32, n.º 2, págs. 334-361.
- THE BUDGET OF THE UNITED STATES GOVERNMENT. 2007. *Budget of the United States Government, Fiscal Year 2007*. Washington, D.C.: U.S. Government Printing Office.
- THE WHITE HOUSE. 1993. *Government Performance and Result Act of 1993 (GRAP)*. Washington, D.C.: Office of Management and Budget.
- _____. 1994. *Circular A-94 Revised. Guidelines and Discount Rates for Benefit-Cost Analysis of Federal Programs*. Washington, D.C.: Office of Management and Budget.
- TRIGEORGIS, L. 1999. *Real options: Managerial flexibility and strategy in resource allocation*. Cambridge, Boston: The MIT Press.
- _____. 2002. *Real options and investment under uncertainty: What do we know?* NBB Working Paper n.º 22. Bruselas: National Bank of Belgium.
- TRIGEORGIS, L. y MASON, S. P. 1987. Valuing managerial flexibility. *Midland Corporate Finance Journal*. Vol. 5, n.º 1, págs. 14-21.
- VALDÉS, B. 1999. *Economic growth: Theory, empirics and policy*. Estados Unidos: Edward Elgar.

- VAN DE SIJPE, N. y RAYP, G. 2004. *Measuring and explaining government inefficiency in developing countries*. Working Paper n.º 04/266. Bélgica: Ghent University, Faculty of Economics and Business Administration.
- VICKREY, W. 1964. Discussion. *American Economic Review. Papers and Proceedings of the Seventy-sixth Annual Meeting of the American Economic Association*. Vol. 54, n.º 3, págs. 86-96.
- VIZZIO, M. 2000. *Los sistemas de inversión pública en América Latina y el Caribe*. Serie Política Fiscal, n.º 109. Santiago, Chile: Naciones Unidas, Cepal.
- WAGSTAFF, A. y CLAESON, M. 2004. *The millennium development goals for health: Rising to the challenges*. Washington, D.C.: The World Bank.
- WENNEKERS, S. y THURIK, R. 1999. Linking entrepreneurship and economic growth. *Small Business Economics*. Vol. 13, n.º 1, pp 27-56.
- WEIMER, D. y VINING, A. 1992. *Policy analysis: Concepts and practice*. Upper Saddle River, New Jersey: Prentice Hall.
- WELLINGTON, A. 1878. 1887 (edición aumentada). *The economic theory of the location of railways*. Nueva York: John Wiley & Sons.
- WILLIAMSON, O. E. 1985. *The economic institutions of capitalism*. Nueva York: The Free Press.
- YESCOMBE, E. R. 2007. *Public-Private partnerships: Principle of policy and finance*. Oxford, UK: Elsevier.
- YIN, R. 1984. *Case study research: Design and methods*. Primera edición. Beverly Hills, CA: Sage.
- YOUNG, L. 2002. *Determining the discount rate for government projects*. NZ Treasury Working Paper, n.º 02/21. Wellington, Nueva Zelanda: The Treasury.

TÍTULOS PUBLICADOS EN ESTA SERIE

20. WAKABAYASHI MUROYA, José Luis. *Los clientes estratégicos como derivación de la ventaja competitiva y del marketing: un modelo exploratorio de confluencia*. 2007, 95 págs.
19. MATOS REYES, Nancy. *Cómo surgen las características que distinguen a las organizaciones innovadoras: una propuesta metodológica*. 2007, 39 págs.
18. MATOS REYES, Nancy. *La piratería: ¿problema o solución?* 2006. 76 págs.
17. PERONI PYE, Renzo. *The asset management industry in EU zone*. 2006. 56 págs.
16. GABEL SHEMUELI, Rajeli. *Inteligencia emocional: perspectivas y aplicaciones ocupacionales*. 2005. 33 págs.
15. QUINTANILLA ACOSTA, Edwin. *Dotación institucional de un país y su relación con la autonomía de los organismos reguladores: revisión de literatura*. 2005. 48 págs.
14. QUINTANILLA ACOSTA, Edwin. *Autonomía institucional de los organismos reguladores: revisión de literatura*. 2004. 53 págs.
13. BRAVO ORELLANA, Sergio. *El costo de capital en sectores regulados y mercados emergentes: metodología y casos aplicativos*. 2004. 114 págs.
12. ROCA, Santiago y SIMABUKO, Luis. *Apertura comercial y especialización productiva: ¿es beneficiosa para América Latina?* 2004. 22 págs.
11. ROCA, Santiago y SIMABUKO, Luis. *El comercio y las inversiones entre la Unión Europea y América Latina: características y consecuencias sobre la especialización productiva*. 2003. 33 págs.
10. REGALADO PEZÚA, Otto y VIARDOT, Eric. *El futuro de la desintermediación en los servicios turísticos: ¿una evolución en las competencias?* 2002. 24 págs.
9. BERRÍOS, Rubén. *La transparencia en la privatización: una aproximación a partir de tres casos del proceso peruano*. 2001. 45 págs.
8. ROCA, Santiago y SIMABUKO, Luis. *Primarización y nivel de vida: el caso peruano 1950-1997*. 1998. 59 págs.
7. SANTANA, Martín; MARAKAS, George M. y HORNIK, Steven. *An Organizational Learning Perspective of Tactics for Information Systems Implementation: Linking Process with Strategy*. 1997. 27 págs.
6. SANTANA, Martín y SABHERWAL, Rajiv. *Developing Global Applications of Information Technology: An Examination of Problems and Implementation Tactics*. 1997. 28 págs.
5. DEL VALLE, Manuel. *The Transformation of Telecommunications in Peru: 1994-1996*. 1997. 43 págs.
4. BARDHAN, Pranab y PRIALÉ, Rodrigo. *Endogenous Growth Theory in a Vintage Capital Model*. 1996. 41 págs.

3. PRIALÉ Z., Rodrigo. *Agricultural Productivity, Trade Orientation and Economic Growth*. 1996. 78 págs.

2. DÍAZ, Carlos y MCLEAY, Stuart. *Provisiones por malas deudas y transferencias de información intraindustrial en el sector bancario*. 1996. 30 págs.

1. PRIALÉ Z., Rodrigo. *Technological Progress, Trade Orientation and the Relationship between Income Inequality and Economic Growth*. 1995. 68 págs.

Impresión

Impresión de carátula:
Gráfica Técnica s.r.l.
Los Talladores 184
Urb. El Artesano, Ate

Impresión de interiores: Universidad ESAN
Alonso de Molina 1652, Surco

LIMA-PERÚ
Marzo de 2009