

Opciones Reales en Inversiones Públicas: Revisión de literatura, desarrollos conceptuales y aplicaciones

Sergio A. Hinojosa

Septiembre 2008

Opciones Reales en Inversiones Públicas: Revisión de literatura, desarrollos conceptuales y aplicaciones

Estructura del Documento

El presente documento tiene dos partes. La primera se presentó para la revisión ciega del Coloquio Doctoral y contiene una revisión bibliográfica y una propuesta conceptual sobre la relación entre opciones reales e inversiones públicas en infraestructura. Se han incorporado precisiones y se ha revisado la bibliografía que ha sugerido el profesor Rosendo Ramírez Taza, árbitro ciego propuesto por CLADEA.

La segunda parte, contiene los desarrollos conceptuales y de aplicaciones para la tesis doctoral que se derivan de la primera parte. Se incorporan ajustes tomados de las recomendaciones de los miembros del tribunal DEA y de profesores revisores¹. Asimismo, los desarrollos que se presentan, están exactamente en la línea de las sugerencias planteadas por el profesor Ramírez Taza. Se muestra: 1. Un avance sobre la formulación analítica de los efectos de las opciones reales en infraestructura en un modelo de crecimiento 2. Una aplicación empírica de una opción real en infraestructura y; 3. Una propuesta fundada que conduce a un ensayo sobre el impacto de las opciones en la evaluación de inversiones de infraestructura pública. Respecto a la aplicación empírica, se presenta un artículo denominado: *Valoración de Garantías Financieras: Un caso particular de Opción Real aplicado al Corredor Amazonas Centro en Perú*. Dicho artículo fue examinado por dos revisores independientes sin observaciones, y ha sido aceptado para ser expuesto como Conferencia Simultánea en la XLIII Asamblea Anual del Consejo Latinoamericano de Escuelas de Administración, CLADEA 2008.

¹ El examen se realizó en Barcelona-ESADE en el mes de julio del 2008, dónde el autor aprobó con calificación *Sobresaliente*

Parte I: Opciones Reales en Inversiones Públicas: Un eslabón que falta

Resumen

En este trabajo se examina la relación entre evaluación social de proyectos de inversión pública con opciones reales a través de revisión de literatura lo que permite construir un marco conceptual. La técnica tradicional para evaluar alternativas de inversión pública, a través del análisis costo-beneficio no captura apropiadamente la incertidumbre inherente al proyecto, así como tampoco incorpora en la evaluación la flexibilidad que la sociedad dispone 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, pero 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 (1985)]. 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 de la sociedad, 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 completa el mercado en el sentido Arrow-Debreu, de tal forma de capturar conceptual y analíticamente el manejo la flexibilidad por parte de la sociedad.

Abstract

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 asses 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 (1985)]. 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.

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

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 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 proyectos² que persigue busca medir la verdadera contribución de la inversión pública al crecimiento económico de un país³.

En la mayoría de estos sistemas de inversión, el análisis costo-beneficio es recomendado como la técnica para usarse en el análisis formal de evaluación de proyectos y programas públicos. No obstante, en muchas de estas decisiones de inversión en la esfera pública, donde se usa el criterio costo-beneficio, calculando el valor actual neto (VAN) - por ejemplo en sectores tales como transporte, energía, tecnología y saneamiento -i) las oportunidades de crecimiento futuro y ii) las decisiones de seguir, postergar, ampliar o abandonar una inversión requieren de flexibilidad. Más aún, la sociedad representada por los poderes públicos (ejecutivo y legislativo), tiene la flexibilidad gerencial y las herramientas específicas para adaptarse, siguiendo el interés colectivo una vez que se revela nueva información a través de 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 seminales sobre valorización de opciones financieras planteadas por los trabajos pioneros de Black y Scholes (1973) y Merton (1973), Myers en 1977 fue el primero en entregar en plantear una explicación acerca de las opciones reales en evaluación de inversiones. Posteriormente le siguen Kester (1984), Brennan y Schwartz (1985), Majd y Pyndick (1985), Mc Donald y Siegel (1986). Trigeorgis y Mason (1987), Pindyck (1988) y Dixit (1989) son los que plantean que el método del valor actual neto [VAN] es incompleto y en consecuencia falla para la valoración de inversiones en presencia de incertidumbre y flexibilidad empresarial.

A partir de estos trabajos académicos, durante la década de los noventa y la fecha, 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 de 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 en R&D, 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 energía, incluso en valorización de clubes de football entre otras [Howell et al (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.

² Se usa como sinónimos evaluación social de proyectos, evaluación socioeconómica de proyectos y análisis costo-beneficio

³ Solamente en el caso de Estados Unidos, la inversión pública presupuestada para el 2007 en los sectores de agricultura, transporte y energía alcanza a más de 50 mil millones de dólares de acuerdo a información del Budget of the US Government (2007). Por su parte de acuerdo al BID en el caso de América Latina en el año 2005 las inversiones totales en infraestructuras públicas y privadas, tanto de expansión como de mantenimiento llegaron a 47 mil millones de dólares, lo que representa alrededor del 2 por ciento del PIB regional. En el caso de América Latina los países que más inversión pública realizan como porcentaje del PIB son Brasil, Chile y México y en el resto del mundo está Alemania, Japón, Reino Unido, China, Canadá y Francia en porcentajes que van desde el 3% al 6% del PIB.

Sin embargo, se destaca 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 socio económica de proyectos, la que se realiza principalmente a través del análisis costo –beneficio, usando como instrumento analítico de valoración el VAN. Especial importancia tiene la relación de las opciones reales con la implementación de inversiones y programas estratégicos implementados por los gobiernos, así cómo al 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, donde en cierto tipo de inversiones públicas los elementos de flexibilidad, son centrales a la hora de tomar decisiones de inversión, por ejemplo 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:

- i. ¿La tecnología que proporciona la teoría de opciones reales debe usarse en la evaluación de proyectos que realiza el sector público?
- ii. ¿La sociedad [representada por el sector público] debe valorar como un activo la capacidad gerencial de disponer de alternativas, opciones y flexibilidad en la toma de decisiones en proyectos públicos de carácter estructural y estratégicos?

En consecuencia, el objetivo del presente artículo es entregar una primera aproximación conceptual, basado en revisión de literatura mostrando la conexión entre la teoría de opciones reales, creación de riqueza y evaluación social de proyectos públicos. A través de análisis de la literatura, se brinda evidencia conceptual que permite fundamentar porque es necesario complementar la metodología tradicional de 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.

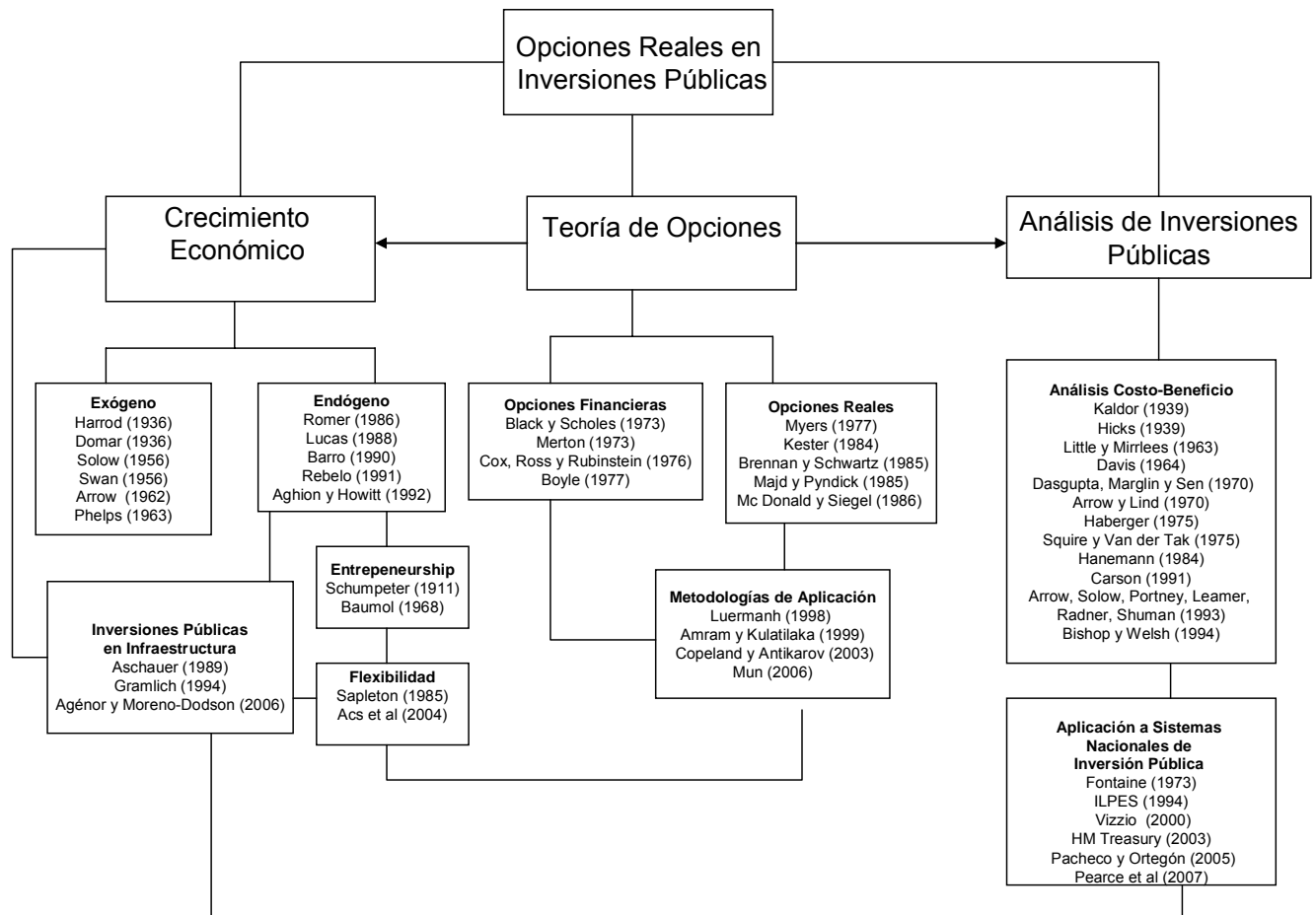
El documento se organiza como sigue. En la sección 1 se presenta la relación entre crecimiento económico y flexibilidad, y su correspondiente revisión de literatura. Se fundamenta que el valor de la flexibilidad impacta positivamente en el crecimiento y en consecuencia incrementa la riqueza de la sociedad. En la sección 2, se analiza la metodología de asignación de recursos de inversión pública que se utiliza en la actualidad. La sección 3, 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 sección 4, donde se examina la incorporación de la incertidumbre y el riesgo a la evaluación social de proyectos. En la sección 5, se discuten las virtudes y defectos del análisis costo-beneficio. En la sección 6, 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 sección 7, se presenta la relación entre la evaluación privada de proyectos y las opciones reales y su correspondiente revisión de literatura. En la sección 8, se muestran ejemplos de la aplicación metodológica de las opciones reales a inversiones públicas. En la sección 9, se diagnostica la implementación de metodologías de evaluación en algunos Sistemas Nacionales de Inversión Pública que consideran representativos para el presente trabajo. En la sección 10, se proponen líneas de investigación futura. Finalmente en la sección 11, se señalan las conclusiones.

Mapa de Literatura y Análisis Conceptual

Los campos de análisis para estudiar la conexión entre opciones reales e inversiones públicas son tres: i) 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. ii) En segundo lugar está la conexión en las teorías de crecimiento económico y su relación con inversiones públicas particularmente en infraestructura y capacidad empresarial (entrepreneurships). Esta última se relaciona con flexibilidad empresarial y en consecuencia con opciones reales. iii) En tercer lugar está 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 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 sub-campos siguientes, se completan con algunas citas bibliográficas de autores que son, a mi juicio las más representativas para el presente trabajo.

Cuadro N° 1
Mapa de Literatura Opciones Reales e Inversiones Públicas



Fuente: Elaboración propia

1. Crecimiento Económico y el Valor de la Flexibilidad

En los últimos años, una de las áreas de mayor interés en el campo de la macroeconomía, ha sido la del Crecimiento Económico, principalmente asociado al hecho que la vigencia de la economía de libre mercado, imperante en la actualidad, ha dado paso a un mayor reconocimiento de la idea de que a mayor producción se genera un aumento en el nivel de vida y bienestar de la sociedad.

Los economistas han buscado explicar desde hace mucho tiempo a que se atribuye el crecimiento de los países. En este sentido y por un largo periodo, los modelos tenían como factor explicativo el trabajo y el capital. Conocidos son los aportes de Harrod (1939) y Domar (1947), quienes tratan de explicar el crecimiento en el corto plazo pero con la desventaja de no permitir la sustitución entre factores; que posteriormente se adopta como supuesto en los trabajos de Solow (1956) y Swan

(1956)⁴, quienes asumen competencia perfecta, pleno empleo y un bien homogéneo, destinado al consumo o inversión. De esta manera, las tasas de crecimiento en estos modelos están determinadas por las tasas de ahorro, depreciación y tasa de crecimiento de la población.

Posteriormente, Phelps (1961) desarrolla “la regla de oro de acumulación de capital” que indica que a través de una determinada tasa de ahorro, es posible maximizar el consumo total y per cápita. Sin embargo, desafortunadamente estos modelos no permiten explicar el crecimiento de largo plazo en forma continua y por ende la intuición de que la inversión o acumulación de capital físico, puede hacer crecer en forma continua a las economías aun no tenía un sustento fundado.

Sin embargo, años más tarde, Romer (1986) tomando como referencia el trabajo de Arrow (1962) asume que existe una externalidad derivada de la inversión en capital asociada al “*Learning by Doing*” (conocido como el modelo Arrow-Romer). Posteriormente autores como Lucas (1988), Romer (1990), Barro (1990), Rebelo (1991) y Aghion y Howitt (1992), continuaron con la investigación del crecimiento endógeno a través de la aplicación del conocimiento, como un factor, que al no tener rendimientos decrecientes⁵ (con propiedades de ser no rival y no excluible) permite crecer indefinidamente en el tiempo. En este sentido surgieron dos vertientes para la incorporación del capital humano dentro de la modelación del crecimiento económico, una de ellas es a través del supuesto de que es posible acumular capital humano al igual como se acumula el capital físico y la segunda corresponde a la necesidad de destinar una cantidad de horas para la generación del capital humano que deben ser descontadas del tiempo total que posee el agente económico.

En materia de literatura de estudio de crecimiento endógeno, la que puede encontrarse en Barro y Sala-I-Martin (1995), Sala-I-Martin (1994), Aghion y Howitt(1998), Valdés (1999) y recientemente en Gerald (2007), se tiene dos generaciones; la primera de ellas se basa fundamentalmente en los “modelos tipo AK”, donde la función de producción tiene rendimientos constantes a escala, lo que implica que si el stock de capital se duplica, entonces se duplica la producción, así, la inversión que es la acumulación del stock de capital asegura un crecimiento continuo. Nótese que en esta versión se considera al capital tanto al capital físico como humano. En esta primera generación de modelos el énfasis estaba puesto en la creación de nuevos productos para efectos del continuo crecimiento.

Barro y Sala-I-Martin (1999), proponen un modelo de crecimiento endógeno, donde el planificador de una economía con un individuo maximiza el bienestar resolviendo el siguiente problema:

$$\text{Max} \sum_{t=0}^{\infty} \beta^t u(c_t)$$

La expresión anterior es una función objetivo que deriva su utilidad del consumo en el tiempo y donde el factor β , es el factor de descuento y debe ser positivo pero menor que uno. Esta función se encuentra sujeta a la restricción de producción que el capital k_t , presenta retornos constantes a escala sobre la función de producción agregada de la economía y_t , la cual se presenta de la siguiente forma:

$$y_t = A k_t$$

y además, como la producción se destina al consumo o a la inversión y esta última esta representada por la variación de los stocks de capital entre el periodo actual y el siguiente considerando la depreciación γ . Por lo tanto, se tiene que el stock de capital en el siguiente periodo

⁴ Que forman parte de los modelos de crecimiento llamados Neoclásicos.

⁵ Las firmas usan el conocimiento en un periodo y luego éste es utilizado como insumo en los periodos siguientes.

k_{t+1} será igual al producto total y_t , más el stock de capital del período actual descontada la depreciación y menos el consumo c_t

$$k_{t+1} = y_t + (1 - \gamma)k_t - c_t$$

Para el caso particular de una función de elasticidad de sustitución constante, (CES), se demuestra que es posible encontrar tasas de crecimiento sostenido en el tiempo sin progreso tecnológico exógeno como en los anteriores modelos. Una de las críticas del modelo AK es que empíricamente no es posible descartar completamente los rendimientos decrecientes a escala.

El espacio para la intervención de la autoridad económica, en términos de impacto al crecimiento, se abre en los modelos que consideran las externalidades positivas del capital humano derivado de que su apropiación es no rival y no excluible, por lo que la tasa de crecimiento en economías estrictamente competitivas, son menores que aquellas en las cuales se modela con un planificador central, ya que este último tendrá la capacidad para aplicar políticas de incentivo a la inversión en capital humano para equilibrar los rendimientos de la inversión de este capital respecto de inversiones en capital físico.

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 del producto de mejor calidad desarrollado iría destruyendo al bien producido con una calidad inferior. Esta idea ha sido retomada por Aghion y Howitt (1998), que muestran como la investigación y desarrollo junto con la innovación permite rendimientos crecientes con competencia imperfecta, haciendo posible un crecimiento sostenido en el tiempo a través de un efecto derrame [spillover] en la economía.

La evolución y los trabajos en el área de crecimiento económico endógeno han sido muy fructíferos en los últimos años, extendiéndose y generalizándose el uso de la teoría de control óptimo a este tipo de modelos. La teoría de control óptimo nace de los métodos de optimización dinámica, es decir sistemas que evolucionan en el tiempo que se representan a través de las ecuaciones de Bellman y del principio del máximo de Pontryagin⁶ y se basa en la descripción de un sistema según el enfoque del espacio de los estados⁷. Lo que trata de realizar el control óptimo es que dado que un sistema evoluciona en el tiempo, se trata de controlar el sistema de manera óptima a lo largo de un horizonte temporal definido, de acuerdo con un objetivo previamente fijado.

Acs, Audretsch, Braunerhjelm y Carlsson (2004) [Acs et al] demuestran como el conocimiento es transformado en conocimiento económico y como éste influye en el crecimiento. Los autores indican, que 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 lo relevante para filtrar el conocimiento comercializable, es decir el conocimiento que es crecimiento continuo, que aumenta la riqueza y el bienestar de la sociedad.⁸

De esta manera, Acs et al (2004), refinan las recomendaciones de política que generó Lucas (1988) que daba mucha importancia a toda la línea de investigación y desarrollo pública y privada pero que no distinguía entre aquél conocimiento que podía ser “comercializable” (económico) y aquél que

⁶ Ver Cedrá (2001) pp. 155

⁷ Para un análisis de la teoría de control óptimo se recomienda revisar Chiang (1992) y Cedrá (2001). Literatura del nacimiento de la teoría de control óptimo se encuentra en Métodos Dinámicos en Economía de Lomeli y Rumbos (2001).

⁸ 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.

era “no comercializable” (no económico). Ahora, 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.

Se puede entonces argumentar, que la capacidad empresarial o flexibilidad de adaptarse al cambio se relaciona con el crecimiento económico, la eficiencia económica y el bienestar a través de al menos cuatro mecanismos de transmisión. Estos mecanismos se describen a continuación:

1.1. Capacidad Empresarial, Flexibilidad y Crecimiento

Un primer mecanismo de transmisión es a través de los modelos de crecimiento endógeno, recientemente expuestos, que incorporaron el concepto de investigación y desarrollo como motor esencial del crecimiento, donde a través de las innovaciones, los países pueden aumentar su riqueza. La habilidad empresarial con su característica de flexibilidad, va incorporando la información que se revela en los mercados diariamente, y que se transforman en oportunidades de negocio.

La capacidad empresarial que puede ser interpretado como entrepreneurship, ha sido denominada el cuarto factor productivo a partir del trabajo de Alfred Marshall [Nafukho y Iraki (2004)] y modelada como uno de los factores claves del desarrollo económico a partir del trabajo de Baumol (1968)⁹. Sin embargo, el trabajo seminal sobre la relación entre crecimiento económico y entrepreneurship se debe a Schumpeter (1911)¹⁰. Como lo señala Dejardin (2000), esta relación es una expresión concreta de las habilidades empresariales, y más precisamente de la capacidad de innovar. Schumpeter ha descrito esta actividad de innovación como: “ the carrying out of new combinations”, distinguiendo cinco casos: (i) introducción de nuevos bienes – es decir bienes en los cuales los consumidores no están familiarizados – o una nueva calidad de bienes, (ii) la introducción de nuevos métodos de producción, que todavía no han sido necesariamente probados, (iii) la apertura de nuevos mercados, (iv) la conquista de nuevas fuentes de oferta de materias primas, indistintamente si esta fuente ya existía o fue creada, (v) la implementación de cualquier organización en cualquier industria, tales como la creación de una posición monopólica.

Existen múltiples definiciones de capacidad empresarial dónde en la mayoría de ellas subyace como un sub componente importante, la flexibilidad gerencial que existe en la sociedad. Por ejemplo, Hannafey (2003) la define como la capacidad de los agentes económicos de realizar nuevos trabajos, administrar y gerenciar nuevos negocios debiendo tener la habilidad para responder al cambio. Foss y Klein (2004) definen la capacidad empresarial como un proceso de decisiones juicioso¹¹ y presentan una muestra clara distinguiendo 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 and Thurik (1999).

Una excelente y exhaustiva revisión bibliográfica sobre las definiciones y aplicaciones del concepto de flexibilidad empresarial se encuentra en Guivernau (2005). Al respecto Guivernau (2005), señala que la literatura ha respondido preguntas tales cómo ¿En que condiciones necesitará una empresa determinada flexibilidad? ¿Que tipos de flexibilidad existen? ¿Como se implementan? ¿Que relación existe entre flexibilidad y entorno?

⁹ En los últimos 20 años la capacidad empresarial como factor productivo ha sido nuevamente tomada en cuenta y comenzó a ser estudiada de manera creciente en el campo de las ciencias económicas y empresariales, incluyéndose como cursos de enseñanza formal en programas de MBA y PhD.

¹⁰ Citado en Aghion y Howitt (1998)

¹¹ Entrepreneurship as judgement

Dentro del contexto del presente documento; es de especial importancia lo indicado por Acs et al (2005) “el rol del empresario es reducir el filtro del conocimiento, incrementando así, la intensidad de las innovaciones, por lo cual el crecimiento es motivado a través de los empresarios explotando el conocimiento incluso aunque no estén produciendo conocimiento”.

Lo anterior permite avanzar en la siguiente idea: imaginar una empresa como un conjunto de proyectos que se encuentran traslapados en el tiempo y que por ende, algunos de aquellos proyectos van extinguiéndose y aparecen otros nuevos. La empresa entonces continúa operando debido a que en el tiempo, el grupo de proyectos nuevos, posee un valor superior al grupo de proyectos que ha desaparecido.

De esta manera, el crecimiento económico estará garantizado en la medida que una misma empresa, utilizando la flexibilidad de que dispone en ambientes de incertidumbre, cada cierto período “reaparezca” con un nuevo proyecto que les 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 de la empresa en un contexto de evolución de una nueva empresa ligada a una cadena de opciones reales.

Sin embargo, para que los empresarios puedan disfrutar de la “luna de miel”, deben mitigar los riesgos e incertidumbres asociadas a las oportunidades que se les presentan y maximizar los beneficios derivados del negocio. En este sentido y 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 sostenido.

En otras palabras, la definición de capacidad empresarial incluye la posibilidad de los agentes económicos de adaptarse, de tomar nuevas decisiones en un mundo con incertidumbre y aprovechar la flexibilidad para las decisiones de inversiones cuando se va revelando nueva información. La flexibilidad como tal es un activo de los agentes económicos y como tal debe valorarse para detectar sus impactos en el crecimiento económico. En esta línea por ejemplo, destaca el trabajo de Mc Grath (1996), que define a los agentes empresariales como “*shadow options*” y la formación de empresas como una opción real que permite generar riqueza.

De lo anterior se desprende, desde un punto de vista estrictamente conceptual, que la flexibilidad puede y también debe incorporarse y valorarse en las decisiones de inversión de proyectos públicos. De la misma forma, como 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 flexibilidad que en este tipo de proyectos subyace o es posible generar también debe identificarse, valorarse y gestionarse por parte de la sociedad.

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. Esto se relaciona a que, en general las inversiones públicas, particularmente 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 bien, no puede recuperar la mayoría de las inversiones realizadas, pues la mayoría de éstas se convierten en costos hundidos. Lo anterior, evidentemente también se aplica a una firma privada. Adicionalmente la mayoría de estas inversiones públicas pueden ser demoradas o diferidas, dándole 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, bajo el entendido que estas opciones son identificadas y valoradas antes de iniciar las operaciones. Cuando el sector público realiza una inversión irreversible, ejerce o elimina la opción de invertir, pues, una vez hecha esta, no

puede desinvertir en caso de que el valor del activo baje debido a condiciones adversas de mercado [Dixit y Pindyck (1994)].

En esta línea, sería posible ver al gobierno o sector público como un conjunto de opciones reales donde el Estado debe administrar un portfolio para maximizar el crecimiento económico con incertidumbre y tomar ventaja de la nueva información que entregan los estados de la naturaleza que tienen un valor intrínseco para la sociedad y para el incremento del bienestar y riqueza.

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 reales¹², 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, entonces la inversión privada se incrementará, aumentando el stock de capital de la economía y permitirá los crecimientos económicos continuos explicados anteriormente. La apromixación de opciones reales y la evaluación privada de inversiones es desarrollada en la sección 7.

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) a través de un estudio de corte transversal usando información de 80 países para el periodo 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, teniendo además 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.

Es así que en un mercado de capitales que funciona adecuadamente genera que: i) se asignen correctamente la riqueza de los individuos, debido a la posibilidad de emitir y comprar activos directa e indirectamente a través de intermediarios financieros en los mercados de contratación correspondientes, ii) se asignen recursos a las empresas debido a la posibilidad de emitir activos financieros, dónde estas son capaces de obtener capital por diversas fuentes y financiar proyectos de inversión, y iii) se ofrezca importante información a través de 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 opiniones de una enorme variedad de individuos, y por lo tanto generan un impacto importante sobre el bienestar social [Marín y Rubio (2001)]

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, contratos e instituciones que funcionan en los mercados de capitales tratan de reproducir las estructuras de pagos que ofrecen estos activos. Un activo Arrow - Debreu es definido como un activo que paga 1 al final del periodo si un estado de la naturaleza ocurre y 0 (nada) si ocurre otro estado. Este concepto permite una descomposición lógica

¹² Valorada, por ejemplo, a través de las técnicas que se usan en opciones financieras, las que fueron popularizadas por los trabajos de Black y Scholes (1973), Merton (1973) y Cox, Ross y Rubinstein (1977).

del mercado de activos financieros en portafolios de activos puros [Marín y Rubio (2001), Copeland y Weston (1999)], y además permite valorar dichos activos contingentes.

Mediante la negociación de los activos Arrow – Debreu, se logra una flexibilización de las preferencias, sobre 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 más eficazmente. Si no existiesen los mercados de capitales, los inversores se verían obligados a consumir sus dotaciones, con todo lo negativo que esto supone para las funciones descritas anteriormente. 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. En este caso, sería como 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 otra 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 Khan (1971)] en que 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, entonces 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, en una economía con mercados incompletos a la que se agregan nuevos activos el bienestar de la sociedad mejorará, aunque es posible encontrar ejemplos escasos de situaciones dónde 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 viene a completar mercados en el sentido de Arrow- Debreu, y lo importante es distinguir si dichos contratos producen mayores 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 menciona en la sub-sección 7.5. 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 es la infraestructura en el crecimiento económico. 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 estudios de Aschauer (1989a, 1989b y 1989c) con la finalidad de estudiar los efectos del declive de la inversión pública a

finales de la década de los sesenta, en la reducción de la productividad de los EE.UU. 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. En efecto, un stock alto en capital público de infraestructura incrementa la productividad de otros insumos tales como el trabajo y stock privado de capital permitiendo reducir los costos de producción [Cohen y Paul (2004)].

Los trabajos de Aschauer señalaron que una buena parte del declive en la productividad estadounidense en los setenta podía ser atribuida a las tasas decrecientes de inversión pública agregada de capital¹³. Aschauer (1989a) fue el primero en establecer económicamente la relación entre ambas variables. En su estudio, y en general aquéllos que le siguieron, la variable dependiente de la ecuación fue la producción en una área determinada, y las variables independientes fueron el capital privado, fuerza de trabajo, capital público y una constante para el nivel de tecnología, como se expresa a continuación:¹⁴

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

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.

Bajo esta metodología, se encuentra en general, 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:

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

Dónde α y β se encuentran en el intervalo (0,1). La productividad marginal del capital privado y del trabajo están dados 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) incrementa la productividad marginal de ambos insumos como se muestra a continuación:

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

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

¹³ En efecto, Aschauer estimó que un incremento del 1 por ciento en el stock de capital público incrementaría la producción nacional de Estados Unidos (EE.UU) en un 0.34 por ciento.

¹⁴ Munnell (1992)

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, consecuencia de un efecto sustitución neto. No obstante, si los insumos privados son altamente complementarios, una alta disponibilidad de infraestructura normalmente incrementará la productividad marginal de los insumos privados y por lo tanto su demanda. La evidencia muestra que a pesar 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 [ver Agénor (2005)].

Adicionalmente en el corto plazo, un aumento en el capital público de infraestructura puede tener un efecto adverso en la actividad, dado que la inversión pública desplaza 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 a través de 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 es a través de una emisión de deuda en el mercado financiero doméstico y la tasa de interés aumenta entonces reduce la inversión privada. También se puede producir por un racionamiento del crédito al sector privado, o en un cambio en las expectativas de inflación y de incrementos de la tasa de interés de largo plazo si la expansión de infraestructura es a través de deuda pública. Si bien el “crowding-out” es en teoría de corto plazo, los efectos se pueden extender por un periodo largo y producir 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 los efectos indirectos en la productividad del trabajo, la durabilidad del capital privado, la educación y la salud [Agénor y Moreno-Dodson (2006)]. Al respecto, estudios analíticos que se focalizan en los efectos del crecimiento de las inversiones en mantenimiento del capital público, son escasos, pero en los últimos años se han realizado interesantes artículos de investigación sobre el tema. Por ejemplo se destacan a 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 cual la inversión pública en mantenimiento no solamente incrementa la durabilidad del capital público sino que eleva la eficiencia de la infraestructura. Adicionalmente discute los efectos de los gastos de mantenimiento por parte del sector público en el stock de capital privado.

La idea central en este aspecto es que el impacto del gasto en mantenimiento por el sector público, por ejemplo, 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 dentro 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 sobre la categoría de gasto en la tasa de depreciación del capital público (como convencionalmente es asumido), sino también en la vinculación de mejorar la

durabilidad del stock del capital privado. No considerar este último efecto puede llevar a una asignación subóptima de recursos hacia nueva inversión en infraestructura.

Por el lado de la salud, 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 tiene un impacto directo en la salud especialmente de los niños y especialmente 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 un considerable mejoramiento de la salud de las personas con su impacto directo en las tasa de crecimiento de la economía [Agénor y Moreno-Dodson (2006)]. Al respecto, una interesante aplicación es propuesta en Agénor y Moreno-Dodson (2006) en el cual desarrollan la conexión entre salud e infraestructura pública a través de 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 al (2007). Para América Latina, un estudio completo lo realizan Loayza, Fajnzylber y Calderón (2004), donde concluyen que además de las políticas relacionadas con la estabilidad macroeconómica y las políticas estructurales, particularmente la sub-política de infraestructura, ha tenido una importancia relevante en la explicación de la evolución de la tasa de crecimiento económico.

2. Análisis 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-capita. Sin duda que cada grupo social y cada país pueden tener objetivos¹⁵ adicionales, sin embargo, académicamente es aceptado que la maximización del bienestar social es compatible con los criterios de asignación de recursos conocidos como Pareto-Eficiente, y es el que entrega el fundamento conceptual para el análisis costo-beneficio¹⁶.

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

Es así que la evaluación socioeconómica de proyectos, a través del análisis costo-beneficio, analiza la contribución y el impacto que tiene para la sociedad en su conjunto la materialización de un

¹⁵ El aspecto distributivo es de importancia para los países pero la metodología asume que el Estado puede aplicar eficientemente políticas distributivas.

¹⁶ Adicionalmente resultaría muy complicado evaluar políticas y priorizarlas considerando objetivos heterogéneos.

proyecto de inversión pública. Lo que se analiza es la verificación de si un proyecto produce o no un aumento de riqueza y en consecuencia su impacto en el crecimiento económico, cumpliendo con el criterio de eficiencia paretiana y por ende incrementando el bienestar de la sociedad.

Evidentemente que 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 versus la situación con proyecto.

La comparación de beneficios y costos de los individuos de la sociedad lleva necesariamente a tener que agregar las preferencias. Para lo anterior, 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, al ser estas funciones de utilidad, ordinales y no comparables, la única posibilidad de función de beneficio social consistente es una dictadura¹⁷. Es decir, la función de beneficio social debe coincidir con la función de utilidad ordinal de algunos individuos, independiente 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. Estas conclusiones fueron demostradas por Arrow (1951) y es llamado el Teorema de la Imposibilidad de Arrow, y una importante literatura ha surgido para poder contrarrestar las argumentaciones entregadas por Arrow. Al respecto una buena síntesis se encuentra en 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 en el largo plazo, una generación de excedente de bienestar colectivo para compensar a las partes que intervienen. La capacidad de ofrecer una compensación potencial es un criterio de decisión de políticas y de proyectos públicos. Para lo anterior, un aumento en el bienestar neto de la población 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 funda 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 usado para el caso que no hay un mercado explícito
- ii. los métodos de cálculo de excedentes que se apoyan en una valoración monetaria de la utilidad y desutilidad del consumidor, generalmente usado para el caso cuando existe un mercado preciso.

¹⁷ “ 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- Diccionario de la Lengua Española]

En los métodos de revelación, las preferencias individuales son consideradas como la principal fuente de valor, y son medidas 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 indica que los beneficios sociales deben ser superiores a los costos. Una detallada y reciente explicación actualizada de la metodología se encuentra en Pearce, Atkinson y Mourato (2007).

La característica de los bienes públicos de infraestructura requiere, por lo tanto, de técnicas específicas en las que se tengan en cuenta todas estas características y la estimación del valor económico se genera 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: la medición a través de preferencias reveladas y la que se basa en preferencias declaradas, es decir en 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 a través de la aplicación del método de valoración contingente (MVC) para el caso donde no hay mercados específicos y/o donde los derechos de propiedad sobre los activos no están definidos.

El método de valoración contingente 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, es decir, 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 David (1961) quien entrevistó a visitantes de un parque en Maine, EE.UU. y les preguntaba el valor que para ellos tenían los bosques del parque. El método se aplica a una serie de sectores como el transporte, medio ambiente, sanitario, salud, educación, cultura y recientemente al área de seguridad ciudadana. Una buena revisión de los sectores donde se aplica se encuentra en Ortega y Barber (2006).

El marco teórico básico de 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 el nivel de un bien o servicio público q . Lo anterior implica que $U^i = f(X, q)$.

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 a los encuestados se refiere a su disposición a pagar (DAP) por un cambio de la cantidad del bien desde q_0 a q_1 lo que queda definido como: $DAP(q) = e(P, q_0, U^*) - e(P, q_1, U^*)$.

DAP puede ser obtenido de diferentes maneras: Formatos de preguntas abiertas y cerradas pueden ser realizadas considerando un nivel de bienestar constante. La función de valoración puede ser

estimada a través de una regresión directa con las respuestas de DAP de los encuestados, con sus características demográficas y socioeconómicas a través de un vector (SE), como 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 éste en el mercado. La forma funcional de la estimación se muestra a continuación:

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

Dónde Q es un vector de las características del cuestionario, β y δ es un vector de coeficientes de regresión, y ε es un término de error. La variable DAP generalmente tiene una representación dicotómica, del tipo SI o NO, con valores 1 o 0, frente a la pregunta si usted estaría dispuesto a pagar (o recibir una compensación) igual a W. Esto es modelado a través de $\Pr(SI) = \Pr(DAP + \varepsilon > W)$. Las respuestas de DAP son regresionadas 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 sólo existen dos atributos, uno con dos niveles (con política y sin política) y otro con varios niveles (el precio) [Hanemann (1984)]¹⁸.

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 de 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 el trabajo clásico de Dupuit sobre la utilidad de las obras públicas apareció en el año 1844. Posteriormente, le siguen los trabajos de Launhardt's y Marshall en 1890 y 1920, 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), Habegger (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 EE.UU. donde se obligaba a que el Cuerpo de Ingenieros de Estados Unidos ejecutara los proyectos de mejoramiento del sistema de vías fluviales siempre que los beneficios totales del proyecto fueran superiores a los costos del proyecto.

El análisis costo-beneficio es recomendado para usarse en el análisis formal de evaluación de proyectos y programas públicos. Es así, cómo el criterio estándar para decidir si un programa o inversión pública se justifica, en términos de principios económicos es el Valor Actual Neto Social (VANS), es decir la diferencia entre los beneficios y costos económicos sociales generados por un proyecto de inversión pública.

El VANS es calculado asignando valores monetarios a los beneficios y costos descontándolos con una apropiada tasa de descuento. Este descuento de beneficios y costos transforma ganancias y pérdidas que ocurren en diferentes periodos de tiempo a un momento único de medición. Proyectos con Valor Actual Neto positivo, incrementan el valor social de los recursos y son generalmente preferidos. Proyectos con Valor Actual Neto negativo, deberían evitarse bajo un criterio de racionalidad económica.

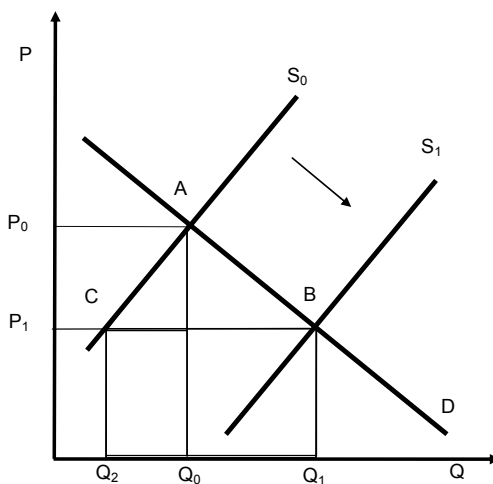
¹⁸ La validez del método fue definitivamente constatada por los premios nobeles Arrow y Solow en 1993 cuando fueron convocados para formar un panel de experto por parte de National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA).

En consecuencia, el indicador por excelencia para el análisis costo beneficio es el valor actual neto social. Dicho indicador tiene la misma expresión que el valor actual neto privado que se usa extensivamente en decisiones de presupuesto de capital. La expresión analítica del VANS es:

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

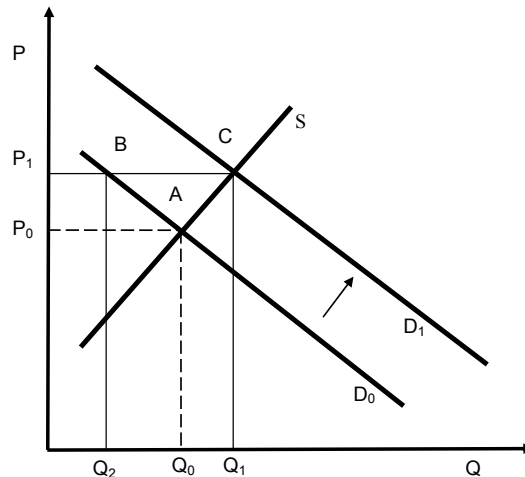
Donde I es la inversión inicial necesaria para la materialización del proyecto, BS es el flujo de beneficios sociales directos, CS es el flujo de costos sociales directos, T el horizonte temporal del proyecto, r_s es la tasa de descuento social, e EI son los efectos indirectos del proyectos, generalmente 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.

A continuación se presenta un ejemplo de un proyecto productivo en el cual se valoriza socialmente la producción y el costo social de los recursos. No se incluyen 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 .



El beneficio social puede tener dos componentes: 1) beneficio social por aumento en la disponibilidad de bienes o mayor consumo, determinado por el área ABQ_0Q_1 2) beneficio social por 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



Por el lado del costo social de los recursos para la producción del bien X, la demanda de los insumos aumenta desde D_0 a D_1 . El costo social tiene dos componentes: 1) el costo social de aumentar la producción del recurso, determinado por el área ACQ_0Q_1 , y 2) 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 (p.e. inversiones en educación y salud) es la técnica de costo-eficiencia¹⁹ 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 está soportado en la premisa de que el valor actual de los beneficios sociales (VABS) generados por un proyecto son superiores 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 perspectiva de la evaluación de inversión y programas públicos, no es desde la óptica del organismo gubernamental ni municipal en particular, ni tampoco desde el sector público en general, sino que es la sociedad en su conjunto.

Al respecto se destaca la definición de la Oficina de Administración y Presupuesto en 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*”²⁰

¹⁹ “Cost-effectiveness analysis”

²⁰ The White House - Office of Management and Budget Circular A-94 Guidelines and Discount Rates for Benefit-Cost Analysis of Federal Programs (1994)

En este sentido, tanto la técnica de análisis como la decisión de qué proyectos ejecutar deben ser aplicadas como mucha racionalidad y eficiencia debido a la existencia de costos alternativos de los recursos y la irreversibilidad de las inversiones. En este sentido el equipo que realiza el análisis debe incorporar la máxima cantidad de información disponible para decidir un proyecto y además ir reevaluando en el tiempo en función de la nueva información que la naturaleza incorpora al sistema.

3. Análisis 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 conjunto²¹.

La metodología más utilizada para la evaluación privada es el Valor Actual Neto (VAN), en la que se establece que 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. 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 beneficios de un proyecto o programa específico de manera tal que recomienda la ejecución del mismo cuando eleva el bienestar de la sociedad como un todo. Esta metodología permite también comparar entre proyectos de acuerdo a 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 [Lindhal (1958), Buchanan (1965), Cornes y Sandler (1986)], (ii) la presencia de uno o unos pocos oferentes o demandantes que predominan en el mercado haciendo 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 generando un menor consumo de bienes meritorios o bien una alta producción de externalidades negativas que afectan a la sociedad [Pigou (1920)], Coase (1960)]. En uno de los sectores, donde se hace más evidente lo anterior, es en la infraestructura pública que justifica y promueve que el gobierno se involucre en su desarrollo. Infraestructura significa “debajo” [infra] del “edificio” [estructura] y por lo tanto generalmente engloba servicios que están “underground”, tales como sistemas de agua y alcantarillado, o que se apoyan 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 colocando énfasis en la actividad productiva y en otros casos concentrándose en la actividad regulatoria, para promover la participación privada en forma total como es el caso de las privatizaciones o en forma parcial como es el caso de las concesiones o asociaciones público-privadas en infraestructura.

²¹ Aunque en algunos casos y principalmente en el último tiempo las empresas se encuentran internalizando la responsabilidad social especialmente en el área ambiental.

La actividad productiva del sector público debe cuidar de no generar “crowding-out” con el sector privado de lo contrario no se estaría 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 el capítulo anterior, será subóptimo.

Como se ha mencionada, 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”, puede ocasionar 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 indica que toda vez que una persona transa en el mercado un bien o servicio a un determinado precio ello conlleva un aumento del bienestar de ese agente económico²². De esta manera se entiende que si por ejemplo el precio al cual fue transado ese bien fue de α dólares entonces se dice que esa persona está dispuesta a pagar al menos α dólares por el bien. La teoría implícitamente 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, dónde la disposición a pagar es al menos igual al precio²³.

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 de beneficio social neto tenemos que:

$$\text{Beneficio Social Neto} = \text{Beneficios Sociales Netos por Efectos Directos} + \text{Efectos netos de Externalidades o Efectos Indirectos}^{24}$$

Es factible demostrar que existe una relación explícita entre la evaluación privada y socioeconómica de proyectos. Al comparar los resultados 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 privadamente, entonces necesariamente deberá ser socialmente rentable.

Ahora, claramente la evaluación social está preocupada del bienestar de la comunidad y la evaluación privada de la riqueza adicional para los inversionistas que puede obtener por un proyecto determinado. En la evaluación social también se consideran las medidas de las externalidades y los intangibles como un factor importante para el desarrollo del proyecto.

²² Aunque ese bien o servicio no sea un bien meritario.

²³ Sin embargo, no siempre lo pagado efectivamente es igual a la disposición a pagar por los usuarios.

²⁴ Por simplicidad se indica que los efectos intangibles siempre estarán presentes, sin embargo su incorporación escapa a la técnica de evaluación y 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 mas indirectos.

En el caso de la evaluación social los precios se definen a valores 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, la evaluación social o análisis costo-beneficio, si bien utiliza la misma lógica de comparar costo y beneficios en valor actual que la evaluación privada, utiliza precios de bienes e insumos corregidos por eventuales distorsiones de mercado, y por lo tanto para un mismo proyecto sería posible encontrar alguna de las siguientes cuatro alternativas i) VANS positivo y VAN privado positivo ii) VANS positivo y VAN privado negativo iii) VANS negativo y VAN privado positivo iv) VANS negativo y VAN privado negativo.

4. Incertidumbre y Riesgo

La mayoría de proyectos que emprenden, tanto el sector privado como el sector público, están sujetos a la incertidumbre y riesgo y asume que en general, los agentes económicos son aversos al riesgo, dónde 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, entonces 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, los beneficios y los costos no son conocidos con certeza, pero sin embargo se conocen las distribuciones de probabilidades. En el caso de incertidumbre se ignora completamente la distribución de probabilidad, y en consecuencia la variable en análisis puede tomar cualquier valor [Mun (2006)].

La buena noticia es que existen técnicas para predecir y también mitigar las probables pérdidas e incluso con adecuadas coberturas, podrían convertirse en potenciales ganancias. Es así que en el ámbito privado, el manejo y administración del riesgo se consideran diversas técnicas para calcular un nivel de rentabilidad esperado. La primera de estas técnicas ha sido a través 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] desarrollado por Sharpe (1964) y por Lintner (1965).

Otra alternativa ha sido calcular los valores esperados de ingresos y 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 pero que deja indiferente a la empresa en cuanto a realizar un proyecto o recibir la rentabilidad acorde al equivalente cierto. La relación entre equivalente cierto (*certainty-equivalent*) y la tasa de descuento ajustada por riesgo fue discutida por primer vez por Robichek y Myers (1966) para el caso de un periodo. El caso para flujos de caja multiperiodo fue propuesto y desarrollado por Bogue y Roll (1974).

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, esto llevaría a una mayor inversión del sector público generando distorsiones en la asignación de recursos y una mayor ineficiencia.

La tasa a la cual debe la autoridad descontar un proyecto de inversión pública es materia de controversia desde la década de 1960. Por una parte, autores como Hirshleifer (1965) argumentaban que la tasa pública debe ser igual a la privada para evitar que la inversión pública desplace ineficientemente a la privada, y 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 (1965) 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 en que la diversificación es efectiva y deseable, no corresponde evaluar con distintas tasas, sino que 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 debido a su mayor capacidad para diversificar el riesgo de sus inversiones. Arrow y Lind (1970), coinciden en que el Estado debe descontar a tasa menor que un privado, pero 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 y por lo tanto la tasa a utilizar debiera ser, en ausencia de distorsiones, 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 ya que asumen que los resultados del proyecto, prácticamente no afectan las rentas de los agentes económicos ya que se distribuyen entre una gran cantidad de individuos, y por lo tanto el riesgo no importa. Una buena revisión de literatura sobre las implicancias de la incertidumbre en inversiones públicas se encuentra en Anderson (1983)

Si bien la discusión de la década de los sesenta y setenta pareció relativamente zanjada a favor de diferenciar las tasas pública y privada, el tema se hace hoy mucho más relevante debido al 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 posteriormente 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 cuando 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, y por lo tanto la incertidumbre y la irreversibilidad se encuentran relacionadas directamente. 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 si resulta conveniente, bajo un enfoque costo-beneficio esperar que se revele nueva información antes de emprender una inversión irreversible. Por su parte, Boardman et al (2001) indican que en juegos contra la naturaleza el valor de la información es importante y dan origen a valorar las cuasi-opciones, en un contexto en el cual por ejemplo, retrasar inversiones irreversibles para permitir tener tiempo para recoger información adicional o que se revele información en el futuro posee un valor ya que 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, involucrando 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 al (2007) plantean que el concepto de cuasi-opción aplicada en proyectos medio ambientales propuesto por Arrow y Fisher (1974) y Henry (1974) es el mismo que se utiliza en la literatura financiera al concepto de 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 dónde la incertidumbre y la irreversibilidad son combinadas para tomar una decisión de retrasar una inversión de tal forma de aprender de la nueva información que es revelada durante el periodo de rezago de la inversión, lo anterior bajo el entendido que el valor de las cuasi opciones incorporan el costos de oportunidad de la espera en la decisión que se está tomado hoy día.

Sin embargo la implicancia más importante para el presente estudio, es que según Pearce et al (2007) una cuasi-opción no es un componente de valor económico y refuerzan la idea anterior citando a Freeman (2003, pp 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 integrada 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 calculo podría ser redundante debido a que la mejor decisión es ya conocida*”.

Recientemente, Schubert y Barenbaum (2007) han mostrado a través de ejemplos específicos la aplicación de opciones reales a decisiones de presupuesto de capital público. Si bien, lo anterior está en la dirección del presente trabajo, la formalización de las aplicaciones y el énfasis de los *fundamentals* no son abordados. Sencillamente, los autores asumen que las opciones reales, dado que se aplican en el sector privado, entonces directamente deben ser aplicadas por la gerencia pública, y muestran varios ejemplos al respecto. En efecto, plantean el caso de un contrato de tercerización, en la construcción de un edificio público por etapas, en la construcción de escuelas, en compras de equipos de computación y en la construcción de una cancha pública de golf. No obstante, plantean que en general, en el caso de un proyecto basado en minimización de costos, la introducción de la flexibilidad genera valor a la decisión de presupuesto de capital, y además señalan que la introducción ex-ante de la flexibilidad, no asegura que el proyecto una vez que se implementa, se desempeñe de manera exitosa.

Una línea diferente a las aproximaciones anteriores, por ejemplo Graham (1981) trata de abordar el riesgo e 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 oferta²⁵.

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 ésta. En

²⁵ Para una mayor profundización véase Graham (1981)

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, ya que permite comparar las disposiciones a pagar ciertas con los costos ciertos [Boardman et al (2001)].

5. Virtudes y Defectos del Análisis Costo-Beneficio

Esta sección complementa la sección 2, dónde se presentó la metodología del análisis costo-beneficio y algunos problemas de esta, 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 indican Nash (1993) y Kornai (1979), no resulta evidente que este análisis reemplace totalmente la evaluación subjetiva del proyecto por parte de los implementadores²⁶.

El uso del análisis costo-beneficio no es discutible para proyectos en los cuales se evalúan proyectos de empresas públicas o aquellos proyectos de inversión pública que involucran participación privada. Sin embargo, las mayores críticas al sistema ocurren cuando se aplica la metodología a proyectos de servicios sociales y en aquellos en los cuales se utilizan metodologías subjetivas para la cuantificación monetaria de los beneficios de la sociedad, como es por ejemplo el tiempo de los usuarios²⁷.

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 medio ambiente. 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 a través de cuestionarios dónde los individuos declaren sus preferencias en políticas medio ambientales [Gowdy (2004)].

Asimismo en la década de los noventa Devarajan, Squire y Sethaput (1997) plantearon la discusión acerca de la verdadera utilidad del análisis costo-beneficio en el sentido de que se puede obtener a partir de esta metodología se puede establecer un beneficio neto social, pero nada indicaba si el proyecto debería ejecutarlo el sector público o privado, en un contexto en el cual las últimas tres décadas, se ha visto una ola privatizadora y una menor intervención pública a nivel mundial. En esta situación, los autores proponen que el escenario base de comparación sería la 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 e igualmente si la participación del sector público ocurre, ser cuidadosos de manera de mitigar los efectos “crowding-out” de la inversión privada.

Adicionalmente, Squire (1989) indica que los costos de financiar los subsidios en los proyectos emprendidos por el sector privado, deben ser evaluados con precisión, pues afectan el presupuesto

²⁶ Muchas veces la evaluación subjetiva tiene que ver con el carácter estratégico de las inversiones, que cómo se verá más adelante es una tipología central del análisis de opciones reales,

²⁷ Por ejemplo, proyectos de infraestructura de transportes.

fiscal y generan distorsiones en la recaudación tributaria, ya que de lo contrario, se estarán sobreestimando los beneficios sociales.

Ante todas estas críticas al análisis costo-beneficio, Habberger (1997) argumentó que si el perfil de flujos de dos proyectos son similares, entonces sus resultados deben ser idénticos independiente de quien realice el proyecto. Por otra parte, en lo que respecta al costo de los fondos públicos indica que estos están totalmente considerados a través de los precios sociales o “sombra” que capturan la convención de que el sector público toma préstamos del mercado de capitales para abordar sus proyectos²⁸.

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, ya que la estimación de satisfacción de las preferencias no es cuantificable con precisión. Cabe destacar que el error de cálculo²⁹ 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 considerar que es necesario introducir el riesgo, como un factor importante, normalmente no es considerado, en especial 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 produce sesgos hacia proyectos que generan ahorro de costos, debido que no considera la variable calidad de manera explícita.
- La evaluación social asume que los beneficios y costos asociados al proyecto se determinan en mercados específicos, es decir en equilibrio parcial no habiendo análisis de efectos en equilibrio general sobre balanza de pagos, niveles generales de precios y precios relativos, empleo, distribución del ingreso entre personas, entre regiones, entre otros.
- También la evaluación social 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 las cuales la cantidad de habitantes es mayor.
- Muchas evaluaciones sociales siguen incorporando los análisis de sensibilidad para incorporar la incertidumbre. Sin embargo, Belli (1996) y el Banco Mundial (2001) indican que las debilidades de los análisis de sensibilidad son que comúnmente no consideran probabilidades para la ocurrencia de los escenarios, como tampoco toman en cuenta las correlaciones entre las variables cuando sólo se modifica una de ellas haciendo el supuesto

²⁸ 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 del 2003 [citado como HM Treasury (2003)], la tasa de descuento se reduce desde 6% a 3,5% para la evaluación a 30 años y utilizando un 3% para evaluaciones desde 31 a 75 años. En el caso de Chile, MIDEPLAN, ha reducido la tasa desde un 12% a un 10% y recientemente en Perú, el Ministerio de Economía y Finanzas ha bajado la tasa para la aplicación del SNIP (Sistema Nacional de Inversión Pública) desde 14% a un 11%.

²⁹ 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 independencia con todas las demás. En este sentido Belli (1996), indica que el análisis de Montecarlo supera todas estas críticas. También se menciona que el criterio del VAN esperado es inadecuado y es necesario considerar la varianza en caso de grandes proyectos en relación a 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 poder avanzar en la medición del bienestar social incorporando la flexibilidad en la toma de decisiones, que se profundizará en la próxima sección.

6. Incorporando 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 crecimiento económico.
- Que la capacidad empresarial, dentro de la cual la flexibilidad posee un valor es un valor agregado, genera crecimiento económico y por lo tanto debe ser incorporado en un análisis costo-beneficio.
- Que el análisis costo-beneficio fomenta proyectos socialmente atractivos debido a que 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 funda 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, pero que sin embargo dicha desventaja (y otras) no superan las ventajas de su implementación.
- Que el riesgo e incertidumbre generan un costo social y 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 y es relevante en la medida que se cumplan al menos tres condiciones: i) que la inversión sea irreversible involucrando 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. Dicho concepto puede ser asimilado al concepto de opciones reales y la cuasi opción no genera valor económico.

- Que se reconoce que la sociedad posee una cartera de proyectos que deben ser gestionados como un portfollio, considerando la flexibilidad en la toma de decisiones reflejada en las decisiones secuenciales, 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, que hace más eficaz y eficiente el mismo, y 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 usado de manera creciente en empresas privadas. Schwartz y Trigeorgis (2001) y Trigeorgis (1999) hacen referencia a que el trabajo de Myers (1977), fue el primero en entregar una explicación acerca de las opciones reales en 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 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 oportunidades de crecimiento, dónde también reconoce que su idea de conectar oportunidades de inversión y opciones de compra nace de la idea seminal de Myers.

Brennan y Schwartz (1985 a.) 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, pero también los autores agregan el control gerencial al considerar opciones de cierre temporal o de abandono de un proyecto. En ese mismo año, nuevamente Brennan y Schwartz (1985 b.) 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 que no considera la posibilidad que futuras decisiones empresariales podrán ser tomadas 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 planteadas por 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 consideradas en evaluaciones de inversiones, especialmente mineras y aeronáuticas son flexibles y pueden ser ajustadas cuando nueva información se revela, proponiendo un modelo que use valoración de opciones para determinar las inversiones óptimas y los tiempos de construcción. Mc Donald y Siegel (1986) mencionan, que cuando la inversión es irreversible y aún 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 valorarlos puede inducir a errores en las decisiones de inversión.

Es nuevamente Myers (1987), quien vuelve a abrir 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, planteando que el método del VAN debiera ser usado en conjunto con

las formulas de valorización de las opciones de venta (put) y de compra (call), y en consecuencia 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, no discutiendo a profundidad sobre la aparente justificación intuitiva de sus planteamientos, y en segundo lugar a que las técnicas para capturar la flexibilidad operacional pueden ser usadas a través del análisis de árboles binomiales que había sido usado ampliamente por hace más de 20 años.

Saliendo adelante 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 estudiando las decisiones de inversión en incertidumbre bajo una perspectiva de la teoría económica. Particularmente Pindyck (1988) señala que se debe considerar y valorar hoy día, la posibilidad de usar nueva información que llegará en el futuro como una parte de los costos de la inversión tomando en consideración que muchas inversiones son irreversibles. Si eso no se hace entonces 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*” no es válida.

A partir de estos trabajos académicos que en gran medida son “seminales”³⁰, a partir de la década de los noventa 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 flexibilidad³¹. Sus aplicaciones se han realizado 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 energía³². 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 socio económica de proyectos sobre la base del análisis costo-beneficio.

Las opciones reales que dispone la sociedad deben incluirse en la evaluación socio-económica de proyectos, no solamente como consecuencia de limitación mecánica-matemática que se produce en el VAN al no considerar la capacidad de flexibilidad para adaptar las decisiones de inversión en ambientes de incertidumbre, sino también esta constatación puede ser apoyada por condiciones estructurales desde la óptica pura de la evaluación social la que se interesa en la generación de riqueza y en 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 sección I.

³⁰ Nunca está claro cuando un trabajo es realmente seminal. Incluso Trigeorgis y Schwartz (2003) y Trigeorgis (1999) plantean que de distintas formas a finales de los 70' e inicios de los 80' habían autores que ya criticaban fuertemente la técnica de valoración de empresa por VAN.

³¹ Formalizados en diversos textos de estudio, por ejemplo Dixit, A. y R. Pindyck (1994), Trigeorgis (1999), Smit y Trigeorgis (2004), Antokarov, V. y T. Copeland (2001), Amram, M. y N. Kulatilaka (1999), Boer (2002), Brach (2003), Braquezec (2003) y Mascareñas, Lamothe, López y de Luna (2005). Además en la web es posible encontrar una serie de páginas que publican artículos y grupos que se organizan para realizar eventos sobre el tema (por ejemplo www.realoptions.org y <http://www.puc-rio.br/marco.ind/main.html>).

³² Una buena referencia para este tipo de aplicaciones es Howell, S., A. Stark, D. Newton, D. Paxson, M. Cavus, J. Pereira y K. Patel (2001)

En efecto, este resultado de la falla de la evaluación social por el método del VAN al no considerar la flexibilidad, como se ha señalado en la Sección 1 es respaldado también por el hecho 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 empresarial³³, además de los otros tres factores por todos conocidos como es el capital, el trabajo y la tierra.

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 dentro del mundo de la economía y finanzas. Por ejemplo según un estudio realizado por Rayo y Cortés (2004) muestran que el 79.6% de los ejecutivos españoles usan el método de valoración del valor actual neto (VAN) para la toma de decisiones, mientras que según un estudio realizado Mongrut y Wong (2005), el 90% de las empresas en Perú usa el VAN. 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 EE.UU. 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 del modelo de retorno de la inversión (ROI) en 1904, que era ampliamente utilizado para la evaluación de inversión de capital proyectado, hasta 1960. La innovación de Du Pont consiste en separar costos de capital en el balance (que habían sido considerados previamente como los gastos de explotación) y los pone en una “cuenta de inversión permanente”. Esta modificación permite calcular porcentajes de ganancias del capital utilizado en el futuro.

A pesar del hecho que el modelo 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, la utilización de ROI fomentó en otras compañías industriales el desarrollo del análisis descuento por flujo de caja, basados en los resultados de Wellington [Chadler (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) afirma que los gerentes de grandes compañías americanas de ferrocarril, inventaron durante 1850 y 1860 casi todas las técnicas básicas de la contabilidad moderna.

De acuerdo a Chadler (1977), Wellington en su libro “*The Economic Theory of the Location of Railways*” (“Teoría Económica de la Localización de Vías Férreas”) en 1877, muy brevemente, describe un método para “*la justificación del gasto presente*” para 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*

³³ Entrepreneurships

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 él proporcionó un conjunto de tablas de valor y explicaciones, junto con ejemplos de aplicación de “expectativas de descuento” y la estimación de rentas y costos. Sin embargo, bajo el criterio actual, la técnica que presentó Wellington 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 basado en el modelo de decaimiento demográfico de tráfico, en lugar de usar el costo de capital para inversiones del mismo riesgo.

El trabajo de Wellington permaneció desconocido entre los gerentes, hasta la adopción de AT&T y Western Electric en 1923, de importantes procedimientos de presupuestos, influenciados por académicos para la ingeniería económica cuyo principal objetivo fue la asignación racional de recursos escasos [Chadler (1977)]. Entre éstos 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, declaró que los economistas eran responsables de escoger las alternativas de inversión que rendirían el retorno máximo de dicha inversión, y aplicando los conceptos desarrollados por Wellington, 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 Chadler (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 a su vez asignó en 1946 un comité que desarrollara en extenso el 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 Calcular 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, 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, por que los resultados de VAN eran análogos a aumentar al máximo la tasa de retorno en la inversión. Estos resultados fueron después confirmados por Lorie y Savage (1955) en su artículo “*Three Problems in Rationing Capital*”, donde 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, en base a 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 mas grandes compañías americanas, a para adoptar los sistemas de la metodología del descuento por flujo de caja.

Según el resumen proporcionado por Sick (1989), en los años 50 - 60 la mayoría de las empresas usó VAN, o métodos de retorno, en sus evaluaciones de proyectos, y en 1970 la mayoría de las empresas 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

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 7.1, uno de los criterios de comparación más comúnmente empleados para valorar proyectos de inversión en las empresas privadas es el *Valor Actual Neto* (VAN) que proyecta de manera directa la maximización del valor de la empresa para el accionista, puesto que indica exactamente cuanto 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 periodo t, es decir la diferencia entre los beneficios y los costos, T el horizonte temporal de evaluación, r es el costo de oportunidad del capital apropiada al riesgo del proyecto. La regla de 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:

1. 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 significa 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 considera la flexibilidad que dispone la gerencia. Lo crea valor para el proyecto de inversión, valor que la técnica del VAN es incapaz de reflejar.
2. La tasa de descuento es conocida y constante, dependiendo únicamente del riesgo del proyecto, por ejemplo calculada a través de 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 la rentabilidad actual del mismo a través del efecto del apalancamiento operativo. Por tanto, la tasa de descuento varía con el tiempo y, además, es incierta.
3. Una proyección acuciosa de los precios esperados a lo largo de todo el horizonte temporal del proyecto es muy difícil, 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. Como esto es muy difícil de hacer, de cara a la aplicación del VAN, arbitrariamente se eligen unos pocos de los muchos caminos posibles [Mascareñas (1998)].

Esta regla es imprecisa debido a que: i) no considera potenciales opciones de esperar para obtener nueva información ii) asume que una vez que la inversión se ha materializado, 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 éste genera.

7.2. – 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 periodo 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 inmediatamente. En el caso de una opción de compra y venta formalmente se calcula cómo:

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

Donde c y p es 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) y Merton (1973)]. Adicionalmente, el comprador de una opción estará dispuesto a pagar un precio superior al valor intrínseco si espera que hasta el vencimiento, los precios en el mercado puedan modificarse 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 para tomar una acción determinada respecto a un proyecto de inversión a un determinado costo, en un determinado periodo. 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 finanzas: *“La planificación estratégica necesita de las finanzas. Cálculos del valor actual resultan necesarios para verificar los análisis estratégicos y viceversa. Sin embargo, las técnicas estándares de flujos de fondos descontados, tienden a subvalorar las opciones de valores que tienen algunas líneas de negocios prósperas y en crecimiento. La teoría de finanzas corporativas requiere una extensión para trabajar con opciones reales”*

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 un estancamiento de la misma y por lo tanto proporciona el derecho pero no la obligación a discontinuar la construcción. En extremo puede resultar óptimo abandonar la obra (*Option to Abandon*).
- *Opción de Expandir o Contraer la capacidad*. Un proyecto puede, durante su ejecución, mostrar potencial para ser expandido (*Option to Expand*) mas 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, a algún nivel de costo y demanda, operar descontinuadamente 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 éstas, 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 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, Astebro y Obeidi (2001), Rogers et al (2002), Chen (2006)].

Una característica importante, referente al valor de las opciones financieras, es que éstas 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 internalizadas al interior de la gerencia (pública y/o privada) o a través de 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 (particularmente los relacionados con infraestructura), y en los cuales el gobierno en la etapa de implementación de dichos proyectos pueda escribir en contratos de largo plazo las opciones reales, 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 definidos como contratos de largo plazo entre el sector público y el sector privado para el desarrollo de infraestructura pública y servicios relacionados [Yescombe (2007)].

7.3.- Técnicas de Valoración

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

- i) Valoración a través 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 esta basado en la optimalidad de las decisiones de los agentes en cada momento del tiempo. El mas 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 Montecarlo, que en su aplicación a valoración de opciones ha sido propuesto por Boyle (1997), 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 el 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, use el segundo y si éste no es factible entonces 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 que:

- i) La rentabilidad esperada de todos los valores es el tipo de interés libre de riesgo
- ii) 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 tomar el o los activos subyacentes en el futuro, basta con asumir los posibles valores que tomará el activo subyacente y la probabilidad se calcula exógenamente. Este resultado es sorprendente y muy útil para valorar opciones.

En este sentido se sabe que la rentabilidad esperada de un activo es³⁴ :

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

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.

³⁴ Ver Hull (2000)

En consecuencia sabemos que:

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

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

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

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.

- i) 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.
- ii) En la segunda etapa se identifica el modelo de valoración, el activo subyacente, la volatilidad y se calcula el valor de la opción.
- iii) La tercera etapa revisa los resultados y establece variables críticas para decisiones de inversión.
- iv) La etapa final rediseña la opción, y refina su definición conceptual, permitiendo de esta forma realizar la gestión del proyecto a través de las opciones reales creadas.

Por su parte Antikarov y Copeland (2001) también identifican 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 de tal forma de detectar como la incertidumbre se comporta 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 a través 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 algunos casos la metodología de opciones reales, en ocasiones puede resultar más útil para idear los proyectos de inversión que para valorarlos [Mascareñas et al (2004)].

Según los autores, una de las razones para que en algunas ocasiones, la metodología de opciones reales sea preferida para contextualizar e idear inversiones en ambientes de incertidumbre en lugar de orientarla a la valoración de estas inversiones, es que en algunos sectores es difícil valorar dado que las inversiones no tienen necesariamente activos subyacentes que se puedan identificar con precisión. Al respecto, Bowman y Moskowitz (2001) argumentan que las razones por las cuales dicha técnica es usada de manera limitada son debido a la dificultad en el desarrollo de los modelos de valoración. Block (2007) implementa un estudio empírico respecto al uso de las opciones reales, tomando una muestra de 1000 empresas *Fortune*, y encuentra que solamente el 14.3% las utiliza. Las razones señaladas por los ejecutivos entrevistados están determinadas entre otras por la dificultad en su uso, su grado de sofisticación y su comprensión.

En este sentido, por ejemplo en un contrato de largo plazo para 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 periodos distintos si se verifican cambios en las condiciones inciertas asociadas a variables claves del contrato. Por ejemplo riesgos geológicos que se verifican posteriormente a la firma del contrato pueden gatillar que el sector privado invoque una opción de salida o de termino anticipado del contrato, o un aumento inesperado de la demanda puede provocar que se ejerza una opción de ampliación de la infraestructura por parte del gobierno.

Opciones “embedded” en este tipo de contratos de largo plazo pueden ser escritas de manera rigurosa por parte de la autoridad pública 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 altamente riesgosos en investigación y desarrollo 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 análisis financiero la definición de riesgo es clara y precisa. 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 a su valor medio. Si definimos R como el valor del activo o proyecto al final de intervalo i , μ_i cómo $\ln(R_i / R_{i-1})$ y $E(\mu)$ como la media de μ_i , entonces, la desviación estándar o volatilidad, puede ser determinado tomando en consideración sus valores históricos y está determinada en tiempo continuo cómo:

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

El problema de la definición anterior es que en algunos casos no existen valores históricos de mercado de un proyecto o activo real, ya que al momento de la evaluación de la inversión este no existe, y la única certeza que se conoce 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 al análisis tradicional del VAN, ya que se trata de valorar los beneficios de la flexibilidad.

Copeland y Antikarov (2001) proponen que en el caso cuando sea imposible obtener la volatilidad de un proyecto usando datos históricos es necesario recurrir a la opción de los especialistas sectoriales y de gerencia para obtener opinión experta. Con esta opinión experta es posible aproximar volatilidad subyacente o “subjética” asumiendo ciertas variables de distribuciones típicas para la variable objeto de revisión³⁵.

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

1. Un modelo de valoración financiera debe existir. El análisis de las opciones reales requiere de 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 al (2004), en el sentido 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 entonces 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.

³⁵ El desarrollo formal que realiza Copeland y Antikarov (2001) es simple y bastante importante para la evaluación de inversiones en proyectos públicos. Véase Capítulo 9 página 259.

3. La incertidumbre debe afectar las decisiones cuando la empresa está activamente administrando el proyecto de inversión 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 o opciones, para corregir decisiones tomadas cuando estos proyectos están siendo administrados activamente. De otra forma la recomendación de Mun (2006) es que no se debe aplicar la metodología.
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 llevar a cabo, o no, la construcción de un embalse. La inversión es completamente irreversible en el sentido que si la demanda asociada al embalse desapareciera³⁶, el costo de la inversión se pierde por completo puesto que la inversión física no tiene un uso alternativo. Además se supondrá que, la inversión puede ser realizada 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 precio³⁷) 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 cual, por simplicidad, se asume igual a la tasa social de descuento.

Para fijar ideas, se supone que: $I = \$ 1600$ y $q = 0,5$. En primer lugar vale notar que el precio esperado es siempre 200. Entonces un cálculo simple del VAN del proyecto obtenido de manera estándar lleva a:

$$VAN(10\%) = -1600 + \sum_{t=0}^{\infty} \frac{200}{(1 + 0,1)^t} = -1600 + 2200 = \$ 600 \quad (1)^{38}$$

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, puesto que el análisis anterior ignora un costo, el costo de oportunidad de invertir ahora, versus esperar y mantener abierta la posibilidad de no invertir si el precio cae.

³⁶ El embalse puede ser multipropósito, es decir para generación de energía hidráulica y/o para riego.

³⁷ Por ejemplo el valor de la producción agrícola que es posible regar con la presencia del embalse.

³⁸ 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 ver cuales 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 sólo si ésta resulta rentable, es decir, si el precio resulta ser de 300. El VAN esperado de esta alternativa es:

$$VAN(10\%) = 0,5 \left[\frac{-1600}{1,1} + \sum_{t=1}^{\infty} \frac{300}{(1+0,1)^t} \right] = \frac{850}{1,1} = \$773 \quad (2)$$

En este caso, la inversión sólo 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.

Pero, ¿Cuál es el origen de esta diferencia en el VAN? Si la decisión de realizar el proyecto o no tuviese que ser tomada hoy³⁹, entonces 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.

Como el ejemplo anterior ilustra, 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 anteriormente, 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, esta preinversión tiene un valor específico a la realización del proyecto de inversión original, pero de no realizarse la preinversión, no hay ninguna posibilidad de construir el embalse, de manera que el eventual negocio se pierde. El ejemplo que a continuación se presenta 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

³⁹ Por ejemplo, debido a que si no se invierte hoy se pierde el mercado frente a un competidor.

200 y cero si el precio es de 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:

$$VAN(10\%) = -700 - 1600 + \sum_{t=0}^{\infty} \frac{200}{(1+0,1)^t} = -700 - 1600 + 2200 = -\$100$$

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 que la preinversión le dará la opción de decidir en el futuro si sigue adelante con el embalse, entonces su evaluación será:

$$VAN(10\%) = -700 + 0,5 \left[\frac{-1600}{1,1} + \sum_{t=1}^{\infty} \frac{300}{(1+0,1)^t} \right] = -700 + \frac{850}{1,1} = \$73$$

Es decir, la decisión privada sería realizar la preinversión para 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:

$$VAN_s(10\%) = -700 - 1600 + \sum_{t=0}^{\infty} \frac{250}{(1+0,1)^t} = -700 - 1600 + 2750 = \$450$$

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:

$$VAN(10\%) = -700 + 0,5 \left[\frac{-1600}{1,1} + \sum_{t=1}^{\infty} \frac{400}{(1+0,1)^t} \right] = -700 + \frac{0,5 [-1600 + 4400]}{1,1} = \$573$$

En este ejemplo se aprecia, la opción de esperar también es valorada por el Estado, de manera que el VAN social se incrementa en relación al calculado en forma tradicional. Más aún, 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 si incorpora todas las externalidades involucradas.

Caso 2: PI = 1200

Se supone ahora que el costo de la preinversión es de \$ 1200 y se mantendrá además el supuesto que los beneficios anuales del ejemplo desarrollado anteriormente generan una externalidad positiva de 100 si el precio es de 300, 50 si el precio es 200 y cero si el precio es de 100. Esta externalidad, como antes, es valorada por la autoridad pero no por un privado interesado en el proyecto.

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

$$VAN(10\%) = -1200 + 0,5 \left[\frac{-1600}{1,1} + \sum_{t=1}^{\infty} \frac{300}{(1+0,1)^t} \right] = -1200 + \frac{850}{1,1} = -\$427$$

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

$$VAN_s(10\%) = -1200 - 1600 + \sum_{t=0}^{\infty} \frac{250}{(1+0,1)^t} = -1200 - 1600 + 2750 = -\$50$$

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:

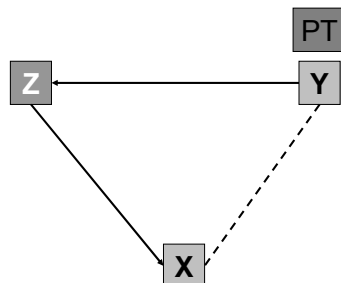
$$VAN(10\%) = -1200 + 0,5 \left[\frac{-1600}{1,1} + \sum_{t=1}^{\infty} \frac{400}{(1+0,1)^t} \right] = -1200 + \frac{0,5 [-1600 + 4400]}{1,1} = \$73$$

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

8.4.- Opciones de Crecimiento en 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 texto de estudio, por ejemplo Mascareñas et al (2004).

Para eso considere dos localidades X e Y. La localidad X tiene un puerto principal y es además la ciudad principal del país. Por ella salen los productos de exportación. A su vez la localidad Y, es una zona meramente productiva, dónde 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 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 a través de la metodología presentada en la sección 2 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 y en caso contrario será mejor abandonarlo. La pregunta es ¿cuanto vale la opción de compra? Se asume que el puerto está proyectado para el año 2011, donde la inversión inicial asciende a 150 millones de dólares y el valor futuro de los flujos de caja calculado el 2011 asciende a 300 millones de dólares. Dicho monto en valor actual a una tasa de descuento del 10% asciende a 205 millones de dólares⁴⁰

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:

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

Dónde:

$$d_1 = \frac{\ln(S/X) + (r + 1/2\sigma^2)t}{\sigma\sqrt{t}}, \quad d_2 = d_1 - \sigma\sqrt{t}$$

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:

$$C(S, t, X) = 205 \times N(d_1) - 300 \times e^{-1.06 \times 4} \times N(d_2) = \text{US\$ } 37.40 \text{ millones}$$

⁴⁰ $\left(\frac{300}{(1.1)^4} \right)$

La opción de compra tiene un valor para la sociedad de 37.40 millones de dólares lo 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 la carretera que conecta la localidad X e Y debe realizarse, el cual considera el valor de la opción de compra de construir el puerto.

8.5.- Inversiones por Etapas en 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 localidades a través de un camino de ripio o a través de 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 entonces 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 entonces el sector público a partir del año 3 invertirá 130 millones de dólares adicionales 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 50 millones de dólares en el caso demanda baja. Las probabilidades se mantienen para ambos escenarios.

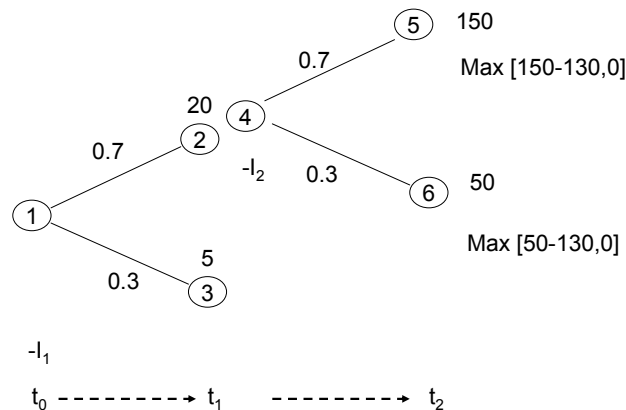
El valor actual neto para determinar la conveniencia de realizar los proyectos con una tasa social de descuento del 12% se muestra a continuación:

$$CAMINO A: \frac{0.7 \times 20 + 0.3 \times 5}{1.12^2} - 20 = -7.63$$

$$CAMINO B: \frac{0.7 \times 150 + 0.3 \times 50}{1.12^3} - 130 = -19.60$$

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 B.

El análisis de opciones reales provee una perspectiva diferente de evaluación para la sociedad. Para eso 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. Por lo tanto esto 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 en la subsección 7.3 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 entonces 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 entonces 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 por lo tanto la implementación de 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 al momento t_1 si los beneficios fueron los inicialmente estimados. Si el camino de trocha (ripió) no entrega los beneficios esperados, entonces no se sigue adelante con el camino pavimentado y entonces 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, la sociedad al valorar la opción de compra e incorporarla en la decisión de inversión ahora es más rica en 77.58 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 particularmente como los gobiernos se organizan metodológicamente respecto al 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 especialmente 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 4 categorías i) *países de avanzada experiencia categoría a la que solo responde Chile*, ii) *países de experiencia incipiente, donde solo 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*.

Una visión muy completa del panorama global sobre las características institucionales, metodológicas, operativas e instrumentales más importantes de los SNIP en 4 países federados de América Latina se encuentra en el trabajo de Pacheco y Ortégón (2005). En el trabajo se analizan los casos de Argentina, Brasil, México, y Venezuela y los autores concluyen que existen importantes diferencias en la forma de implementar SNIPs en países unitarios que en países federativos. También realizan un extenso análisis del caso de España y particularmente Andalucía. En España, existe un alto grado de descentralización y para el análisis de los sistemas de inversión pública es necesario distinguir al Estado propiamente 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 Sistema de Inversión Pública (SNIP). La inversión pública se inscribe dentro de los mecanismos generales de la economía, en su sistema de planificación y en su sistema presupuestario. A 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, dado 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 a través de concesiones. Por su parte en ILPES (2004) ha desarrollado un análisis comparativo entre los SNIP de los países de Centroamérica, donde el mayor grado de avance es exhibido por Costa Rica.

En Estados Unidos, el “SNIP” está regulado por la Ley de Cumplimiento y Resultados del gobierno de 1993⁴¹ 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 se incluyen los efectos en la distribución del ingreso. Enfatizan que la evaluación social debería incluir los beneficios y costos esperados para la sociedad. La metodología propone una forma de tratar las tasas descuentos entre nominales y reales, y define una secuencia de tasas para distintos periodos 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, al incorporar en los reportes los análisis de sensibilidad y de riesgos de las variables subyacentes que componen el modelo de evaluación costo-beneficio. Estos análisis deben incorporar estimación de distribución de probabilidades, identificación y estimación de riesgos relevantes, y el uso de métodos de simulaciones estocásticas si fuera posible y necesario. Sin embargo la metodología no hace mención alguna en el uso de la flexibilidad a través de opciones reales en la evaluación de los proyectos de inversión de proyectos públicos.

En el caso de Gran Bretaña, el sistema de inversión pública se regula a través del *“The Green Book : Appraisal and Evaluation in Central Government”* que es administrado por el *HM Treasury* (2003). Dicho documento muestra de manera muy completa las guías para la evaluación

⁴¹ Government Performance and Result Act of 1993 (GRAP)

de proyectos y programas conducidos por el sector público y particularmente establece cómo las evaluaciones económicas, financieras, medio ambientales 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 son incorporados de manera importante a través de procesos de identificación, asignación, administración, control y medición, a través del uso de árboles binomiales y análisis de Montecarlo. En este sentido, un análisis de inversiones irreversibles es sugerido principalmente para el caso 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 flexibilidad para responder a condiciones en el futuro. Los análisis de riesgos e incertidumbre son adicionalmente tratados de manera especial en un segundo documento: *The Orange Book "Management of Risk: Principles and Concepts"*. Sin embargo a pesar de que las metodologías incorporan de manera importante el análisis de riesgo e incertidumbre, y salvo con la sugerencia respecto al 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 al (2007).

En América Latina, Chile tiene el sistema de inversiones que data de más largo tiempo ⁴². 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 a inversión y 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, se incluyen agua potable, electrificación residencial, riego, saneamiento de título y telefonía rural. (ii) Las que determinan beneficios por la liberación de recursos, si incluyen aeropuertos, defensas fluviales, informática, edificación pública, mantenimiento vial, transporte caminero y vialidad urbana. (iii) Las que determinan beneficios a través de 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 considera 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, y/o incorporar opciones estratégicas de crecimiento futuro no está presente en la preparación ni evaluación de los proyectos.

⁴² El análisis de otros sistemas utilizadas en otros países de América Latina puede ser encontrado en Vizzio (2000)

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, incluyendo las que corresponden a proyectos de infraestructura. Esto significa, que cada proyecto debe atravesar fases de perfil, prefactibilidad y factibilidad a través de 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 mediante análisis costo-beneficio o costo-efectividad. El objetivo de este proceso es el de 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 en el mediano y largo plazo, de dichas inversiones. Además, en ningún caso la evaluación de estos proyectos por la metodología SNIP involucra el análisis de riesgo ni tampoco el análisis de opciones reales.

El siguiente cuadro muestra de manera general la caracterización de los últimos cinco sistemas presentados:

Cuadro 2:
Sistemas de Inversión Pública en algunos países

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

Fuente: 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 usando para ello los precios sociales relevantes.
2. Identificar las principales fuentes de riesgo del proyecto y particularmente la o 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 a través de 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 complementar lo anterior con variables cualitativas y utilizar alguna metodología de decisión multicriterio.
6. Preparar un reporte con los resultados obtenidos y especialmente con los pasos a seguir para parte del sector público para la administración activa respecto a las opciones reales identificadas y valoradas. Para eso se debe tomar en cuenta el proceso a seguir para el ejercicio de la opción en su tiempo de expiración o su inter-relación funcional con otras opciones reales del proyecto.

Para lo anterior, resulta central que el sistema de inversión que se encuentre en implementación 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 que se han mostrado 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 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 basado en experiencias reales siguiendo la metodología de estudio de casos [Yin (1983), Eisenhardt (1989), Creswell (2003)].

Para la primera línea se puede fundamentar analíticamente porque es necesario complementar la metodología tradicional de costo-beneficio con el uso de opciones reales a través de 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*” debido a que se puede desarrollar analíticamente a través de 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 sostenido de largo plazo. En estos modelos aparecen los 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 a través de 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 a la segunda línea de investigación, probablemente el área más fértil de estudios de casos reales y de propuestas de desarrollos futuros sea en la definición y valoración de las opciones reales de infraestructura en contratos de largo plazo de asociación pública-privada (p.e. 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 cambios metodológicos para analizar y evaluar los proyectos de inversión público bajo este enfoque.

Finalmente, una línea de investigación complementaria es vincular teoría de juegos y 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 dónde 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.

11. Conclusiones

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

Lo anterior está fundamentado por el hecho que la existencia y el ejercicio de la flexibilidad, materializada en el derecho, pero no la obligación de emprender cierta acción, genera un impacto positivo en el crecimiento económico. La flexibilidad como tal 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 la cual 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 dónde el criterio del VAN tradicional es incompleto al no considerar 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, incorporando la teoría de opciones reales a la metodología de decisión de proyectos de inversión pública, se 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 la posición de ella, 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 lo que se mantienen las críticas o desventajas de la misma que han sido observadas por diversos economistas al enfoque costo-beneficio.

Desde el punto de vista práctico, la utilización de opciones reales en las metodologías de evaluación social que disponen los gobiernos, permitirá avanzar de manera más directa en la recomendación para la implementación de proyectos públicos que aun presentando un valor actual neto negativo en su evaluación tradicional son capaces de generar valor por la flexibilidad presente.

Por lo tanto resulta central 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 proyecto. Esto es especialmente importante en la habilidad y capacidad que tiene la sociedad para responder a la incertidumbre con la flexibilidad que se requiere en aquellos proyectos que representan decisiones estratégicas para el país e implican un importante uso de recursos económicos.

De esta manera, es necesario considerar que el valor de la flexibilidad del gobierno es importante ya que se reconoce de manera explícita que ella reacciona a la nueva información y se incorpora en el momento de la evaluación del proyecto para posteriormente ejercer o no la opción. Particularmente importantes tienen las opciones reales en contratos de largo plazo de asociación pública-privada para el desarrollo de infraestructura y servicios.

Referencias Bibliográficas

1. Acs, Z., Audretsch D., Braunerhjelm P., y B. Carlsson (2004) "The Missing Link The Knowledge Filter and Entrepreneurship in Endogenous Growth" Editado por Group Entrepreneurship, Growth and Public Policy, MPI Jena. Paper # 0805, November 2004.
2. Agénor, P.R. (2005) "Infrastructure Investment and Maintenance Expenditure: Optimal Allocation Rules in a Growing Economy" Working Paper No.60, Centre for Growth and Business Cycle Research, University of Manchester (September 2005)
3. Agénor, P.R. y B.Moreno-Dodson (2006) "Public Infrastructure and Growth: New Channels and Policy Implications" The World Bank Policy Research Working Paper 4064, November 2006.
4. Agénor, P.R. y D. Yilmaz (2006) "The Tyranny of Rules: Fiscal Discipline, Productive Spending, and Growth" Working Paper No. 73, Centre for Growth and Business Cycle Research.
5. Aghion, P. y P. Howitt (1992) " A model of Growth to Creative Destruction" *Econometrica* 60, pp 323-351
6. Aghion, P. y P. Howitt (1998) *Endogenous Growth Theory*, Cambridge, MA: MIT Press.
7. Amram, M. y N. Kulatilaka (1999) *Real Option*, Harvard Business School Press.
8. Anderson, J. (1989) "Forecasting, Uncertainty and Public Project Appraisal" Working Paper WPS 154 The World Bank.
9. Anderson,J., Barnum H., Belli P., Dixon J. y T. Jee-Peng (1997), *Handbook of Economic Analysis of Investment Operations*. Operations Policy Department Learning and Leadership Center.
10. Anderson,J., Barnum H., Belli P. Dixon J. y T. Jee-Peng (2001), "Economic Analysis of Investment Operations: Analytical Tools and Practical Applications", World Bank Institute.
11. Antikarov, V. y T. Copeland (2001) *Real Options a Practitioner's Guide*. Thompson.
12. Arrow, K. J. (1951) *Social Choice and Individual Value*, New York, Wiley.
13. Arrow, K. J. (1962) "The Economic Implications of Learning by Doing" *Review of Economics Studies*, 29, pp. 155-173.
14. Arrow, K. J. (1964) "The Role of Securities in the Optimal Allocation of Risk Bearing" *Review of Economic Studies*, 31 (April):pp 91-97.
15. Arrow, K.J. y D. Lind (1970) "Uncertainty and the evaluation of public investment decisions" *American Economic Review* Vol. 60 No.2, pp 364-78
16. Arrow, K.J. y A. Fisher (1974) "Environmental Preservation, Uncertainty, and Irreversibility" *The Quarterly Journal of Economics*, Vol. 88, No. 2 (May, 1974), pp. 312-319
17. Arrow, K. J. y F. Kahn (1971) "General Competitive Analysis" Holden-Day, San Francisco, 1971.
18. Aschauer, D. (1989a) " Is Public Expenditure Productive?" *Journal of Monetary Economics*. March, 23 (2), pp. 177-200.
19. _____ (1989b) "Public Investment and Productivity Growth in the Group of Seven" *Economic Perspectives*, 13 (5), pp. 17-25.

20. _____ (1989c) "Does Public Capital Crowd Out Private Capital?" *Journal of Monetary Economics*. 24 (2), pp. 171-188.
21. Baidya, T. y L. E. Brandão (2000) "An Application of Arrow and Debreu Pure State Contingent Securities in Real Options Theory" Pontificia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Mimeo.
22. Baldwin, C. y K. Clark (1994) "Capital-Budgeting Systems and Capabilities Investments in US Companies after the Second World War". *Business History Review* 68, pp. 73-109
23. Barro, R. (1990), "Government Spending Simple Model of Endogenous Growth", *Journal of Political Economy* 98 pp 103-125.
24. Barro, R.J. y X. Sala-I-Martin (1995) *Economic Growth*. New York: Mc Graw Hill
25. Baumol, W., Panzar, J. y R. Willig (1982) *Contestable Markets and The Theory of Industry Structure*. Harcourt Brace, New York.
26. Belli, P. (1996) "Is Economic Analysis of Projects Still Useful?" Policy Research Working Paper 1689, The World Bank, December 1996.
27. Benaroch, M. (2002) "Managing Information Technology Investment Risk: A Real Options Approach" *Journal of Management Information Systems*. 19(2): 43-84.
28. Bergson, A. (1938) "A Reformulation of Certain Aspects of Welfare Economics" *Quarterly Journal of Economics*, 52(2), February 1938, pp. 310-34.
29. Black, F. y M. Scholes (1973) "The pricing of options and corporate liabilities", *Journal of Political Economy*, 81, 1973.
30. Block, S. (2007) "Are "real options" actually used in the real world?" *The Engineering Economist*, 52, pp. 255-267 Fall 2007
31. BID (2006) América Latina debe recuperar inversión en infraestructura. Noticias del BID Abril 2006
32. Boardman, A., Greenberg D., Vining A. y D. Weimer (2001) *Cost-Benefit Analysis Concepts and Practice*. Prentice Hall. Second Edition.
33. Boer, P. (2002) *The Real Options Solution: Finding Total Value in a High-Risk Model*. John Wiley and Sons, Inc. 2002
34. Bogue, M. y R. Roll (1974) "Capital Budgeting of Risky Projects with Imperfect Markets for Physical Capital" *Journal of Finance*, 29, 2, pp. 601-613
35. Bowman, E. y G. T. Moskowitz (2001) "Real options analysis and strategic decision making" *Organization Science*; Nov/Dec 2001; 12, 6.
36. Boyle, P. (1977) "Options: A Monte Carlo Approach," *Journal of Financial Economics* 4 (May), pp. 323-338
37. Brach, M. (2003) *Real Options in Practices*. John Wiley and Sons, Inc. 2003
38. Braquezec, Y. (2003) *Les Options Réelles: Investissement, Structure du Capital et Risque de Crédit*. Ed. Economica 2003
39. Brealey, R. y S. Myers (2000) *Principles of Corporate Finance Six Edition* Mc Graw-Hill

40. Brennan, M.J. y E. Schwartz (1985a), "Evaluating Natural Resource Investments," *The Journal of Business* 58, 2,135-157
41. Brennan, M. y E. Schwartz, (1985b) "A New Approach to Evaluating Natural Resource Investments," *Midland Corporate Finance Journal*,3, 1, 37-47
42. Brennenman, A. y M. Kerf (2002) "Infrastructure and Poverty Linkages: A Literature Review," the World Bank
43. Buchanan, J. (1965) "An Economic Theory of Clubs". *Economica*, New Series, Vol. 32
44. Bubnicki, Z. (2005), *Modern Control Theory*, Springer-Verlag. Berlin
45. CEPAL (2005), *Metodología general de identificación, preparación y evaluación de proyectos de inversión pública. Manual 39*. Santiago de Chile.
46. Cerdá, E. (2001) *Optimización Dinámica*. Prentice Hall.
47. Coase, R. (1960) "The Problem of Social Cost" *Journal of Law and Economics*, Vol 3, 1, pp. 1-44
48. Cohen, J. y J. M. Paul (2004) "Public Infrastructure Investment, Interstate Spatial Spillovers, and Manufacturing Costs," *Review of Economics and Statistics*, 86 (May 2004), 551-60.
49. Copeland, T. y J. F. Weston (1999) *Financial Theory and Corporate Policy* (3rd Edition), Addison Wesley
50. Cornes, R. y T. Sandler (1986) *The Theory of Externalities, Public Goods and Club Goods*. Cambridge University Press.
51. Craven, B. y S. Islam (2005) *Optimization in economics and finance: Some advances in Non-Linear, Dynamic, Multi-Criteria and Stochastic Models*, Springer. Netherlands.
52. Creswell, J. (2003) *Research Design: Qualitative, Quantitative and Mixed Methods Approaches*. Second Edition SAGE publications.
53. Chandler, A. (1977) *The Visible Hand: The Managerial Revolution in American Business*. Cambridge, Mass. Belknap Press.
54. Cheng, J. (2006) "Optimal R&D Expenditure- A Value Maximization Approach" *International Research Journal of Finance and Economics*
55. Chiang, C. y K. Wainwright (2006) *Métodos Fundamentales de Economía Matemática*. Cuarta edición. Mc Graw – Hill
56. Choi, Y. y D. Shepherd (2002) "Honeymoons and the entrepreneurial process: A Real Options Perspective" Mimeo
57. Cox, J., Ross, S. y M. Rubinstein (1979) "Option Pricing: A Simplified Approach", *Journal of Financial Economics*, Vol. 7, September, 229-263.
58. Dasgupta, P., Marglin S. y A. Sen (1972) "Guidelines for Project Evaluation", New York, United Nations Industrial Development Organization, 1972.
59. Davis, R. (1963) *The Value of Outdoor Recreation: an Economic Study of the Maine Woods*. Tesis doctoral, Harvard University.

60. De Haan, J, Romp, W. y J.E. Sturm (2007) "Public Capital and Economic Growth:Key Issues for Europe" Mimeo IMF
61. De Rus, G. (2004) Análisis Costo Beneficio: Evaluación Económica de Políticas Públicas y Proyectos de Inversión. Ariel, 2ª Edición.
62. Debreu, G. (1959) Theory of Value. Wiley, 1959
63. Devarajan,S., Squire L. y S. Suthiwart-Narueput (1997) "Beyond Rate of Return: Reorienting Project Appraisal". The World Bank Research Observer, Vol 12. no.1
64. Dixit, A. y R. Pindyck (1994) Investment Under Uncertainty. Princeton, NJ: Princeton University Press.
65. Dixit, A. (1989) "Entry and Exit Decisions under Uncertainty," Journal of Political Economy 97, pp. 620-638.
66. Domar, E. (1947) "Capital Expansion, Rate of Growth, and Employment" Econometrica 14 (2).
67. Dulman, S. (1989) "The Development of Discounted Cash Flow Techniques in US Industry", Business History Review 63, pp 555-587.
68. Eichberger, J. y I. Harper (1997) Financial Economics Oxford University Press
69. Eisenhardt, K.M. (1984)" Building Theories from Case Study Research" The Academy of Management Review, Vol. 14, No. 4, pp. 532-550.
70. Elliasson, G. y M. Henrekson (2003) "William J. Baumol: An Entrepreneurial Economist on the Economics of Entrepreneurship" Small Business Economics Working Paper Series in Economics and Finance No 532, 2003.
71. Fontaine, E. (1973) Evaluación Social de Proyectos. Ediciones Universidad Católica de Chile.
72. Fisher, A. (1974) "Investment Decision under Uncertainty and Option Value in Environmental Economics" Resource and Energy Economics, Vol. 22, pp. 197-224.
73. Foss, N. y P. Klein (2004) "Entrepreneurship and the Economic Theory of the Firm: Any gains from trade?" Handbook of Entrepreneurship: Disciplinary Perspectives (Kluwer, forthcoming).
74. Fredberg, T. (2007) "Real Options for Innovation Management" International Journal of Technology Management 2007-Vol. 39 pp. 72-85
75. Geske, R. (1979) " The Valuation of Compound Options" , Journal of Financial Economics pp. 1511-1524.
76. Gerald, A. (2007) Introducción a los modelos de crecimiento económico exógeno y endógeno. Edición electrónica gratuita. Texto completo en www.eumed.net/libros/2007a/243/.
77. Gómez-Ibañez, J. (2003) Regulating Infrastructure Monopoly Contract and Discretion. Harvard University Press.
78. Gowdy, J. (2004) "The Revolution in Welfare Economics and Its Implications for Environmental Valuation and Policy" Land Economics, Vol. 80, 2, pp. 239-257.
79. Graham, D. (1981) "Cost-Benefit Analysis Under Uncertainty" American Economic Review 71, 1981, pp. 715-725.

80. Gramlich, E. (1994) "Infrastructure Investment: A Review Essay," *Journal of Economic Literature*, 32 pp 1176-1196.
81. Grout, P. (2002) "Public and Private Sector Discount Rates in Public-Private Partnerships" CMPO working paper Series N°03/059.
82. Guivernau, J.M. (2005) *Estudio de la Flexibilidad Empresarial desde la Perspectiva de las Opciones Reales*. Tesis Doctoral. ESADE Universidad Ramón Llul
83. Gupta, S., Schiller C, Ma H. y E. Tiongson (2001) "Privatization, labor and social safety nets", *Journal of Economic Surveys*, Vol. 15, No. 5, 647-669.
84. Hannafey, F. (2003) "Entrepreneurship and ethics: A literature review" *Journal of Business Ethics*, 46, 2, Aug. 2003.
85. Hanemann, M. (1984) "Welfare evaluations in contingent valuation experiments with discrete responses" *American Journal of Agricultural Economics* vol. 66 (pp. 332-341)
86. Habberger, A. (1973) "Project Evaluation: Collected Papers". New York, Mac Milan.
87. Harberger, A. (1997) "New Frontiers in Project Evaluation? A Comment on Devarajan Squire, and Suthiwart-Narueput". *The World Bank Research Observer*, Vol.12, no.1.
88. Harrod, R. (1939) "An Essay in Dynamic Theory" *Economic Journal* 49 (193)
89. Hart, O. (1975) "On the Optimality of Equilibrium when the Market Structure is Incomplete," *Journal of Economic Theory*, 11 , pp. 418-443.
90. Hart, O. (2003) "Incomplete Contracts and Public Ownership: Remarks and an Application to the Public Private Partnerships". *The Economic Journal*. No 113
91. Hemming, R. (2006) "Public-Private Partnerships, Government Guarantees and Fiscal Risk" Washington, DC: IMF.
92. Henry, C. (1974) "Investment Decision under Uncertainty: The Irreversibility Effect" *American Economic Review*, Vol. 64, pp. 1006-1018
93. Hicks, J.R. (1939) "Foundations of Welfare Economics" *Economic Journal*, Vol. 49, pp. 696-712
94. Ireland, P. (1994) "Supply-side Economics and Endogenous Growth", *Journal of Monetary Economics*, 33 pp. 559-71
95. Hirshleifer, J. (1966) "Investment Decision under Uncertainty: Applications of the State-Preference Approach" *Quarterly Journal of Economics* 80, pp. 252-277
96. Hulten, Ch. (1996) "Infrastructure Capital and Economic Growth: How Well you Use it may be more Important than how much you Have," Working Paper No. 5847, National Bureau of Economic Research.
97. HM Treasury (2003) *The Green Book: Appraisal and Evaluation in Central Government*. HM Treasury UK
98. HM Treasury (2004) *The Orange Book: Management of Risk: Principles and Concepts* HM Treasury UK

99. Howell, S., Stark, A., Newton D., Paxson D., Cavus M., Pereira J. y K. Patel (2001) *Evaluating Corporate Investment Opportunities in a Dynamic World*. Prentice Hall.
100. Hull, J. (2000) *Options, Futures & Other Derivatives*. Fourth Edition Prentice Hall.
101. ILPES (Instituto Latinoamericano y Del Caribe de Planificación Económica) (2004) *Los sistemas nacionales de inversión pública en Centroamérica: marco teórico y análisis comparativo multivariado*. Publicación de las Naciones Unidas
102. Jensen, M.C y W. Meckling (1976) "Theory of the firm: Managerial behavior, agency costs and ownership structure. *Journal of Financial Economics*. Vol.3
103. Kessides, C. (1996) "A Review of Infrastructure's Impact on Economic Development" in *Infrastructure and the Complexity of Economic Development*, ed. by David F. Batten and Charlie Karlsson, Springer Verlag 1996
104. Kester, W.C (1984) "Today's options for tomorrow's growth" *Harvard Business Review*, Vol 62 No 2 (1984) pp 153-160
105. King, R. y R. Levine (1993) "Finance and Growth: Schumpeter can be right" *The Quarterly Journal of Economics*, August 1993, pp 718-737.
106. Kalaitzidakis, P. y S. Kalyvitis (2004) "On the Macroeconomic Implications of Maintenance in Public Capital," *Journal of Public Economics*, 88, pp. 695-712.
107. Kaldor, N. (1939) "Welfare Propositions of Economics and Interpersonal Comparisons of Utility" *Economic Journal*, Vol. 49, pp. 549-552
108. Kuhn, T. (1962) *La estructura de las Revoluciones Científicas*. Fondo de Cultura Económica, México.
109. Klein, P. (1999) "Entrepreneurship and Corporate Governance," *Quarterly Journal of Austrian Economics* 2: 19-42.
110. Kopp, R., Krupnick A. y T. Michael (1997) "Cost-Benefit Analysis and Regulatory Reform: An Assessment of the Science and the Art". Discussion Paper 97-19.
111. Kornai, J. (1979) "A Appraisal of Project Appraisal" in *Economics and Human Welfare: Essays in Honor of Tibor Scitovsky*, edited by Michael J. Boskin.
112. Laffont, J.J. y J. Tirole (1993) *A theory of Incentives in Procurement and Regulation* The MIT Press 1993
113. Lindahl, E. (1958) "Just taxation-a positive solution" en R. Musgrave y A. Peacock, eds., *Classics in the Theory of Public Finance*. Macmillan. London, 1958.
114. Little, I.M.D. y J.A. Mirrlees (1969) *Manual of Industrial Project Analysis*, Paris, OECD Development Centre 1969.
115. Litner, J. (1965) "The Valuation of Risk Assets and the Selection of Risky Investments in Stock Portfolios and Capital Budgets", *Review of Economics and Statistics*, pp. 13-37
116. Loayza, N., Fajnzylber P. y C. Calderón (2004) "Economics Growth in Latin America and The Caribbean: Stylized Facts, Explanations, and Forecasts" *Banco Central de Chile Working Papers* N° 265

117. Longstaff, F.A. y E. Schwartz (2001) "Valuing american options by simulation: A simple least - squares approach" *The Review of Financial Studies*, Vol. 14, N° 1, pp. 113-147.
118. Lomelí, H. y B. Rumbos (2001) *Métodos Dinámicos en Economía*. Instituto Tecnológico Autónomo de México 2001.
119. Lorie, J. y Savage, L. (1955) "Three problems in rationing capital" *The Journal of Business*. 28 (4): 229-239.
120. Lucas, R. (1988) "On the Mechanics of Economic Development" *Journal of Monetary Economics*, 22 pp 03-42.
121. Luehrman, T. A. (1998) "Investment Opportunities as Real Options: Getting Started on the Numbers" *Harvard Business Review*. 76(4): 51-60. Perspective.
122. Lutz, F. y V. Smith (1951) *The Theory of Investment of the Firm*. Princeton, Univ. Press
123. Mc Grath, R. (1996) "Options and the entrepreneur: Towards a strategy theory of entrepreneurial wealth creation" *Proceeding of the Academy of Management* 101-105
124. MacDonald, R. y D. Siegel (1985). "Investment and the Valuation of Firms When There is an Option to Shut Down," *International Economic Review* 26, 2 , pp. 331-349.
125. Mac Donald, R. y D. Siegel (1986) "The Value of Waiting to Invest," *Quarterly Journal of Economics*, Vol 101, Number 4 1986, pp. 707-727. Reimpreso en "Real Options and Investment Under Uncertainty: Classical Readings and Recent Contributions, Eduardo Schwartz y Lenos Trigeorgis, eds, MIT Press.
126. Majd, S. y R. Pindyck (1985) "Time to Build, Option Value, and Investment Decisions" NBER Working Paper Series.
127. Marín, J. y G. Rubio (2001) *Economía Financiera*, Antoni Bosc Editor
128. Mascareñas, J. (1998) "Las decisiones de inversión como opciones reales: un enfoque conceptual" Documentos de trabajo de la Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales, Universidad Complutense de Madrid
129. Mascareñas, J., Lamothe P. López L. F. y W. de Luna (2004) *Opciones Reales y Valoración de Activos*. Madrid. Prentice Hall. 2004.
130. Mason, S. y R. Merton (1985) "The Role of Contingent Claims Analysis in Corporate Finance" in *Recent Advances in Corporate Finance* edited by Altman and Subrahmanyam – Irwin 1985
131. Merton, R. (1973) "The theory of rational option pricing", *Bell Journal of Economics and Management Science*, Spring, pp. 141-183.
132. Merton, R. (1974) "On the pricing of corporate debt: The risk structure of interest rates" *Journal of Finance* 19, 1974
133. Merton, R. (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* 1, 1977
134. Mideplan (1994) *Preparación y Presentación de Proyectos de Inversión*. Gobierno de Chile
135. Mongrut, S. y D. Wong (2005) "Un examen empírico de las practicas de presupuesto de capital en el Perú" *Estudios Gerenciales*, Abril-Junio 2005 Número 095 Universidad ICECI

136. Morris, H. (1988) "Entrepreneurial intensity: Sustainable intensity for individuals, organizations and societies" Westport, CT: Quorum
137. Myers, S.C. (1977) "Determinants of Corporate Borrowing" *Journal of Financial Economics*. Vol. (5) 2, pp. 147-175.
138. Myers, S. C. (1987) "Finance Theory and Financial Strategy," *Midland Corporate Finance Journal* 5, 1 pp. 6-13.
139. Mun, J. (2006) *Modeling Risk: Applying Monte Carlo Simulation, real options analysis, forecasting, and optimization techniques*. Wiley Finance, 2006
140. Munnell, A. (1992) "Infrastructure Investment and Economic Growth" *Journal of Economic Perspectives*, Vol. 6, No. 4, Fall, pp. 189-198.
141. Nafukhu, F y W. Iraky (2004) "Factors Predicting Entrepreneurship Opportunities in
142. the United States of America: 1969-2000" *Public Policy Working Paper Series*
143. 2003-2004. University of Arkansas
144. Nash, C. (1993) "A Cost- Benefit Analysis of Transport Projects" in *Efficiency in the Public Sector: The Theory and Practice of Cost-Benefit Analysis*, edited by Alan Williams y Emilio Giardina.
145. Ortega, P. y P. Barber (2006) "Diseño de un estudio de valorización contingente aplicado a la seguridad ciudadana" *Universidad de Las Gran Canarias*
146. Pacheco, J. y E. Ortégón (2005) "Los Sistemas de Inversión Pública en Argentina, Brasil, México, Venezuela y España como caso de referencia" *Revista de la CEPAL Serie Manuales* 40 Junio 2005.
147. Partnerships Victoria (2003), *Use of Discount Rates in the Partnerships Victoria Process*. Technical Note.
148. Pearce, D., Atkinson, G, y S. Mourato (2007) *Cost-Benefit Analysis and Environment: Recent Developments* OECD, 2007 (también en francés).
149. Phelps, E. (1961) "The Golden Rule of Accumulation: A Fable for Growthmen," *American Economic Review* Vol. 51.
150. Pindyck, R. (1988) "Irreversible Investment, Capacity Choice, and the Value of the Firm," *American Economic Review* 78, pp. 969-985.
151. Pries, F, Astebro, T. and A. Obeidi (2001) "Economic Analysis of R&D Projects: Real Option versus NPV Valuation Revisited" *Department of Management Science University of Waterloo*. Canada
152. Rayo, S. y A. Cortés (2004) "Como valoran los directivos españoles proyectos con Opciones Reales" *Capítulo 4 Working Paper Universidad de Granada*.
153. Rebelo, S. (1991) "Long-Run Policy Analysis and Long-Run Growth" *NBER Working Papers* No 3325
154. Rioja, F. (2003) "The Penalties of Inefficient Infrastructure," *Review of Development Economics*, 7, pp. 127-37.
155. Robichek, A. y S. Myers (1966) "Conceptual Problems in the Use of Risk-Adjusted Discount Rates" *The Journal of Finance*, December.

156. Rogers, M., Gupta, A. y C. Maranas (2002) "Real Options Based Analysis of Optimal Pharmaceutical Research and Development Portfolios" *Ind. Eng. Chem. Res.* 2002.
157. Romer, P. (1986) "Increasing Returns and Long Run Growth" *Journal of Political Economy* 98. pp 1002-1037.
158. Romer, P. (1990) "Endogenous Technological Change", *Journal of Political Economy*, 98, 5, pp. 5071-5102.
159. Romp, W. y J. de Haan (2005) "Public Capital and Economic Growth: A Critical Survey," in *Infrastructure, Economic Growth, and the Economics of PPPs*, EIB Papers, European Investment Bank, Vol. 10.
160. Ross, S. (1973) "The Economic Theory of Agency: The Principal's Problem" *American Economic Review*, Vol. 63, 2.
161. Ross, S. (1976) "The Arbitrage Theory of Capital Asset Pricing" *Journal of Economic Theory*. N° 13. Pag. 341-360.
162. Rothbard, M. (1985) "Professor Hébert on Entrepreneurship." In *idem., The Logic of Action Two: Applications and Criticism from the Austrian School*. Aldershot, U.K.: Edward Elgar, 1997.
163. Samuelson P. A. (1947). *Foundations of Economic Analysis*, Harvard University Press, Nueva edición 1983.
164. Samuelson, P. A. (1964) "Discussion" *American Economic Review* 59, 3, pp. 93-96.
165. Sanz, J. y L. Herrero (2006) "Valoración de bienes públicos relativos al patrimonio cultural. Aplicación comparada de métodos de estimación y análisis de segmentación de demanda" *Hacienda Pública Española*, nº178, 3/2006)
166. Sala-I-Martin X. (1994) *Apuntes de Crecimiento Económico*, Antoni Bosch.
167. Shantayanan, D., Squire L. y S. Narueput (1997) "Beyond rate of return: reorienting Project Appraisal". *The World Bank Research Observer*, Volume 12, Number 1, 1997.
168. Shantayanan, D., Squire L. y S. Narueput (1995), "Reviving Project Appraisal at the World Bank". *The World Bank Policy Research Department*.
169. Sharpe, W. (1964) "Capital Asset Prices: A Theory of Market Equilibrium", *Journal of Finance*, September pp. 425-442
170. Schubert, W. y L. Barenbaum (2007) "Real Options and Public Sector Capital Project Decision-Making" *Journal of Public Budgeting, Accounting & Financial Management*; Summer 2007; 19, 2
171. Schwartz, E. y L. Trigeorgis (2003) *Real Options and Investment under Uncertainty: Classical Readings and Recent Contributions*. The MIT Press.
172. Sick, G. (1989) "Capital Budgeting With Real Options" *Monograph Series in Finance and Economics*. Salomon Brothers Center for the Study of Financial Institutions, Stern School of Business, New York University.
173. Smit, H. y L. Trigeorgis (2004) *Strategic Investment: Real Options and Games*. Princeton University Press
174. University Press
175. Squire, L. y H. G. Van der Tak (1975) *Economic Analysis of Projects*, Baltimore 1975.

- 176.Solow, R. (1956) "A Contribution to the Theory of Economic Growth" Quarterly Journal of Economics 70 pp 65-94
- 177.Swan, T. W. (1956) "Economic Growth and Capital Acumulation" Economic Record 32
- 178.The White House (1993) Budget of the US Government 2007 and Government Performance and Result Act of 1993 (GRAP)
- 179.Trigeorgis, L. (1999) Real Options: Managerial Flexibility and Strategy in Resource Allocation. The MIT Press.
- 180.Trigeorgis, L. (2002) "Real Options and Investment Under Uncertainty: What do we Know?". National Bank of Belgium, Working Paper No. 22., 2002.
- 181.Trigeorgis, L., y S. P. Mason (1987) "Valuing Managerial Flexibility," Midland Corporate Finance Journal 5, 1 pp. 14-21.
- 182.Valdés, B. (1999) Economic Growth: Theory, Empirics and Policy. Edward Elgar Publishing Limited, MA USA.
- 183.Van de Sijpe, N. y G. Rayp (2004) Measuring and Explaining Government Inefficiency in Developing Countries. Ghent University, Faculty of Economics and Business Administration.
- 184.Vickrey, W. (1964) "Discussion" American Economic Review, 59, 3 pp. 88-93
- 185.Vizzio, M. (2000) "Los sistemas de inversión pública en América Latina y el Caribe". Revista de la CEPAL Serie 109 Política Fiscal. Marzo 2000.
- 186.Wagstaff, A. y M. Claeson (2004) The Millennium Development Goals for Heath: Rising to the Challenges, The World Bank
- 187.Wennekers, S. y R. Thurik (1999) "Linking entrepreneurship and economic growth", Small Business Economics, 13, pp 27-55
- 188.Weimer, D. y A. Vining (1992) Policy Analysis: Concepts and Practice. Upper Saddle River, New Jersey, Prentice Hall.
- 189.Williamson, O.E. (1985) The Economic Institutions of Capitalism, New York: The Free Press, 1985
- 190.Yescombe, E.R. (2007) Public-Private Partnerships: Principle of Policy and Finance. Elsevier Finance
- 191.Yin, R. (1984) Case study research: Design and methods (1st ed.). Beverly Hills, CA: Sage Publishing
- 192.Young, L. (2002) "Determining the Discount Rate for Government Projects". New Zealand Treasury, working paper 02/21.

Parte II: Tres Ensayos sobre Opciones Reales en Inversiones de Infraestructura Pública

Resumen

La forma tradicional para evaluar alternativas de inversión pública, a través del análisis costo-beneficio no captura apropiadamente la incertidumbre inherente al proyecto, así como tampoco incorpora en la evaluación la flexibilidad que la sociedad dispone. Para llenar este vacío, se propone utilizar la teoría de opciones reales [Myers (1977), Kester (1984), Brennan y Schwartz (1985a)], la cual ha sido estudiada y aplicada de manera preferente a la valoración de inversiones privadas, pero no a las evaluaciones sociales de proyectos de infraestructura que realiza el sector público en representación de la sociedad.

En un primer trabajo, se vincula analíticamente el análisis costo-beneficio con opciones reales a través de dos pruebas. La primera, que denomino “prueba débil” asume por analogía que si el método del Valor Actual Neto (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], debido a que el VAN también es usado en evaluaciones de proyectos públicos. La segunda, que denomino “prueba fuerte” propone analizar de manera analítica el impacto de las opciones reales en un proyecto de capital de infraestructura pública y el crecimiento económico. Para lo anterior se propone un modelo de crecimiento, dónde a través de teoría de control óptimo [Chiang (1992), Leonard y Van Log (1992), Cerdá (2001)], se muestre que la inclusión de opciones reales en la valorización de las inversiones públicas debiera trasladar la trayectoria óptima a un nivel superior de crecimiento económico.

En un segundo trabajo, se analiza un caso de aplicación y particular de una opción real: las garantías financieras otorgadas por los gobiernos a proyectos públicos desarrollados bajo esquemas de asociación pública-privada [Hemming (2006)]. A partir de las aproximaciones de Black y Scholes (1973), Merton (1974) propone el análisis de demandas contingentes (contingent claim analysis), bajo el cual es posible analizar las garantías financieras desde la perspectiva de la teoría de opciones. Para lo anterior, se modela una garantía de ingresos mínimos en un proyecto de concesión en Perú, como una secuencia de opciones europeas de venta. Esta garantía también es valorada a través de la solución que propone Black y Scholes (1973) y simulación de Monte Carlo.

En un tercer trabajo, se examina algunos aspectos de teoría económica y se analizan los mecanismos de evaluación económica en proyectos de infraestructura implementados a través de modelos de asociación pública-privada. Se propone desarrollar un estudio de caso dónde se identifiquen y se cuantifiquen a través de un análisis-costo beneficio opciones reales. Asimismo, se propone introducir el análisis de decisiones multicriterio aplicando el proceso jerárquico analítico [(Saaty (1980))] en la toma de decisiones acerca de la forma de seleccionar, evaluar, diseñar y contratar proyectos de asociación pública-privada. Esto último se desarrolla tomando como caso de estudio las experiencias de Chile, México y Perú.

TRABAJO N° 1

OPCIONES REALES EN UN MODELO DE CRECIMIENTO

A través de la revisión de la literatura, y de los análisis conceptuales, se ha argumentado que uno de los canales directos por los cuales es posible transmitir la flexibilidad al crecimiento económico de un país, es a través de inversiones en capital en infraestructura pública, incorporando en el diseño, en la evaluación y la valoración de los proyectos de inversión, las opciones reales que identificadas.

Si se compara una trayectoria temporal de crecimiento económico en una economía donde la opción real está presente, con una economía donde la opción real no está disponible, se debiera mostrar que en el primer caso se genera una trayectoria superior de crecimiento continuo. Lo anterior constituye la hipótesis del presente trabajo. Se espera obtener soluciones analíticas. En caso contrario, se estudiará el comportamiento de la solución utilizando diagramas de fases, la cual es una herramienta gráfica que parte del supuesto que la función de restricción es $\dot{x} = 0$ donde se analiza su estabilidad y su comportamiento.

En lo que sigue, se presentan ecuaciones y conceptos preliminares para orientar el problema en un contexto de un modelo endógeno de crecimiento económico. Intuitivamente la idea es introducir una opción real en el marco de un modelo de crecimiento endógeno. La opción real se introduce como una de crecimiento futuro (*growth option*), que se materializa en una inversión pública en infraestructura al momento que la sociedad ejerza la opción. Posteriormente se presenta un desarrollo de la teoría de control óptimo necesario para resolver el modelo planteado.

1. Opción Real en Capital Público

Sea F_1 el flujo social neto de un proyecto de infraestructura. Es decir, el ingreso nacional neto de un proyecto, que incrementa el capital público en un monto I_0 . Sea g la tasa de crecimiento de los ingresos netos y r la tasa social de descuento para este tipo de inversiones, entonces el **VANS** en ausencia de externalidades puede ser definido cómo:

$$VANS = -I_0 + \frac{F_1}{(1+r)} + \frac{F_1(1+g)}{(1+r)^2} + \dots + \frac{F_1(1+g)^{T-1}}{(1+r)^T}$$

$$VANS = -I_0 + \frac{F_1}{(1+r)} \times \frac{(1+g)}{(1+r)} \left[\frac{F_1}{(1+r)} + \dots + \frac{F_1(1+g)^{T-2}}{(1+r)^{T-1}} \right]$$

$$VANS = -I_0 + \frac{F_1}{(1+r)} \times \frac{(1+g)}{(1+r)} \left[VANS + I_0 - \frac{F_1(1+g)^{T-1}}{(1+r)^T} \right]$$

Reagrupando se tiene que:

$$VANS = -I_0 + \frac{F_1}{(r-g)} \times \left[1 - \left(\frac{1+g}{1+r} \right)^T \right]$$

Haciendo $t \rightarrow \infty$, se tiene:

$$VANS = -I_0 + \frac{F_1}{(r-g)}$$

Ahora se introduce una opción real. Particularmente una opción de crecimiento que se materializa solamente si el proyecto de inversión inicial (I_0) se implementa. El nuevo proyecto se puede materializar el año H . El valor descontado al año H de los flujos operacionales netos ascienden a $F_1(1+g)^H$. El proyecto adicional requiere una inversión I_H . En otras palabras la sociedad al invertir en el proyecto I_0 está comprando adicionalmente una opción europea (call option). Asumamos que esta opción tiene una solución analítica igual a (C) , sobre la base de la expresión desarrollada por Black y Scholes (1973):

$$C = F_1 \times (1+g)^H \times N(d_1) - I_H \times e^{-Rt} \times N(d_2)$$

Donde:

$$d_1 = \frac{\ln\left(\frac{F_1}{I_H} \times (1+g)^H\right) + t\left(R + \frac{\sigma^2}{2}\right)}{\sigma\sqrt{t}} \quad \text{y} \quad d_2 = d_1 - \sigma \times \sqrt{t}$$

Ahora el $VANS$ es igual a:

$$VANS^* = -I_0 + \frac{F_1}{(r-g)} + F_1 \times (1+g)^H \times N(d_1) - I_H \times e^{-Rt} \times N(d_2)$$

$$VANS^* = VANS + F_1 \times (1+g)^H \times N(d_1) - I_H \times e^{-Rt} \times N(d_2)$$

Es decir el $VANS$ con la opción real es mayor al $VANS$ sin la opción.

2. Producto

La economía genera un producto (Y) logrado por capital privado y un nivel de capital público en infraestructura, y se representa la función de producción usando una tecnología que sigue a Barro (1990):

$$Y_t = (eK_G)_t^\alpha (K_P^{1-\alpha})_t$$

Donde $\alpha \in [0,1]$, K_G es el capital de infraestructura y e representa su eficiencia. La producción exhibe retornos constantes a escala en ambos factores. K_p denota el capital privado.

3. Hogares

Los agentes económicos tienen una función de utilidad donde el consumo es la variable de control. La función de utilidad es caracterizada por:

$$U = \int_0^{\infty} u(c_t) e^{-\rho t} dt$$

Donde ρ es la tasa de preferencia inter-temporal. Siguiendo a Aghion y Howitt (1998) y Sala-i-Martin (1994) se trabajará con la siguiente representación para la función de utilidad:

$$u(c_t) = \frac{c_t^{1-\theta} - 1}{1-\theta}$$

Donde c es el consumo y $\theta > 0$. Esta función se conoce como función de elasticidad de intertemporal constante [Sala-i-Martin (1994)]. Además se deben agregar restricciones de ingreso y gasto del consumidor. Esto implica que el ingreso total de una familia se puede destinar al consumo o a la adquisición de activos financieros. Siguiendo a Sala-i-Martin (1994) la restricción puede escribirse como: $\dot{B} = wL + rB - C$, donde w es el salario, L el trabajo, r la tasa de retorno de los activos financieros, y B es el stock de activos financieros.

Nota: esta parte y la siguiente se encuentra en desarrollo, y es precisamente parte de la investigación de los próximos meses.

4. Gobierno y Capital Público de Infraestructura

El gobierno invierte en infraestructura, y gasta en su mantención M . Obsérvese que la inversión en infraestructura puede tomar dos valores:

$$\begin{aligned} \text{Con opción real:} & \quad \frac{F^*}{\varepsilon} = I_G \\ \text{Sin opción real:} & \quad \frac{F_1}{(r-g)} = I_0 \end{aligned}$$

Se asume que la forma de financiar la inversión en infraestructura es a través de impuestos proporcionales al producto. En consecuencia, siguiendo a Agénor (2005), la restricción del gobierno es:

$$I_G + M = \tau Y$$

La inversión en infraestructura y en mantención de ella son fracciones de los impuestos, es decir:

$$I_G = \nu_G \tau Y \quad M = \nu_M \tau Y$$

El capital público en infraestructura tiene la siguiente evolución sobre el tiempo:

$$\dot{K} = I_G - \delta_G K_G$$

5. Problema

El problema consiste en determinar las trayectorias óptimas de consumo y de capital en el tiempo, en alguna condición de equilibrio de mercado que considere las restricciones de los hogares, de la producción y del gobierno. Lo anterior implica, que simultáneamente se tiene que tener presente que los hogares maximizan su utilidad y las firmas maximizan beneficios. Para esto se formula un problema de control óptimo. Este problema de optimización dinámica se basa en la utilización de variables de control que permiten maximizar una función objetivo sujeta a restricciones. Las variables de control se utilizan como instrumento en la optimización y se buscará encontrar sus trayectorias óptimas. Una vez halladas se obtendrá la trayectoria óptima de las variables de estado a partir de la relación que las une, es decir la ecuación de movimiento.

6. La teoría de control óptimo

La Teoría de Control Óptimo empieza con el desarrollo de la Teoría del Cálculo de Variaciones, el cual surgió en el siglo XVIII y recibió en los trabajos de Euler (1707 – 1783) y de Lagrange (1736 – 1813), la forma de una teoría matemática rigurosa [Cerdá (2001)]

Según Cerdá (2001), Lomelí y Rumbos (2003) y Bardey y Bonnet (2006) los conceptos de observabilidad⁴³ y controlabilidad⁴⁴ introducidos por Kalman (1960), así como los métodos de optimización de Bellman (1975) y Pontryagin (1962), fueron el origen de lo que se conoce como la Teoría Moderna de Control o Teoría de Control Óptimo, basado en la descripción de un sistema según el enfoque de sus estados. Sus aplicaciones se extienden a la ingeniería, economía, biología, medicina y ciencias sociales. En el campo de la economía se utilizan sistemáticamente técnicas de control óptimo en la investigación de la teoría del crecimiento [Aghion y Howitt (1998), Sala-I Martín (1994), Barro y Sala-i- Matin (1995)]. En economía de empresas, se utilizan estas técnicas,

⁴³ Se dice que un sistema es observable en el tiempo t_0 si, con el sistema en el estado $\mathbf{x}(t_0)$, es posible determinar este estado a través de la observación de la salida durante un intervalo finito de tiempo.

⁴⁴ Se dice que un sistema es controlable en el tiempo t_0 , si por medio de un vector de control no restringido, es posible transferir el sistema desde cualquier estado inicial $\mathbf{x}(t_0)$ a cualquier otro estado en un tiempo finito.

con resultados adecuados, para el estudio de problemas como: control de inventarios mantenimiento y reemplazamiento de máquinas, planificación de la producción, política de publicidad, entre otros. Todo ellos desde la segunda mitad de los años setenta [Bardey y Bonnet (2006), Cerdá (2001)].

7. Intuición

Considere la situación de la salud una persona en el momento t_0 . El momento que visita la consulta médica se designa por A y constituye el estado de la salud de la persona en ese instante. Designe por B el estado en tres meses posteriores en un segundo examen médico. Se desea pasar del estado A al estado B en el plazo de tres meses mejorando el estado de salud. ¿Cuál será el tratamiento que indica el médico y cuales son entonces las prescripciones a seguir? Este es un sencillo, pero típico ejemplo de un problema de optimización dinámica, que coloca de manifiesto los elementos fundamentales del mismo: un sistema, en este caso biológico, que se encuentra en cierto estado, y cuyo funcionamiento puede ser controlado desde un centro médico para ser conducido a otro estado, de modo "óptimo" según algún criterio pre-establecido.

Considere un segundo ejemplo. En este caso la situación de la economía en el momento t_0 . La economía se encuentra en un estado A con una tasa de crecimiento del consumo igual a c . Designe por B el estado de la economía en un periodo largo t_1 . Deseamos pasar del estado A , al estado B mejorando el estado del consumo de la sociedad a través de aumentos en el capital de infraestructura pública la cual incorpora opciones reales. Los elementos fundamentales son: el sistema, en este caso la economía, que se encuentra en cierto estado, y cuyo funcionamiento puede ser controlado desde políticas públicas para ser conducido a otro estado, de modo "óptimo" según algún criterio establecido de antemano, en este caso a través de incrementos en inversiones de capital público de infraestructura y la valorización de opciones reales.

Este problema de optimización dinámica utiliza variables de control que permiten maximizar una función objetivo sujeta a restricciones. Las variables de control son utilizadas como instrumento en la optimización y se busca encontrar sus trayectorias óptimas. Una vez halladas, se obtiene la trayectoria óptima de las variables de estado a partir de la relación que las une, es decir una ecuación de movimiento.

8. Optimización Estática y Dinámica.

Los problemas de optimización se dividen según como se definen sus variables: en estáticas y dinámicas, de acuerdo a como se explica a continuación:

- Estáticos, porque el objetivo es optimizar funciones de una o varias variables, es decir, hallar varios valores numéricos que permitan obtener un valor óptimo (máximo o mínimo) de la función. Es posible realizar problemas de optimización sin restricciones, con restricciones de igualdad y desigualdad.
- Dinámicos, donde las variables dependen de un parámetro: el tiempo, y en consecuencia tiene un objetivo encontrar una función o conjunto de funciones que optimicen integrales definidas en el tiempo. Estos pueden subdividirse en tiempo discreto y tiempo continuo.

A continuación se desarrolla la noción de optimalidad, abarcando desde lo general hasta lo particular, para a llegar a la formulación de los problemas de optimización dinámica en especial los problemas de teoría de control óptimo. Esta parte toma como referencia a Chiang (1987) y Calcagno et al (2003).

Cuando el objetivo es encontrar el valor óptimo de una función de varias variables el problema se puede plantear de la siguiente manera:

$$\underset{x}{Opt} U(x) \quad (1)$$

Siempre que la función U sea diferenciable para todo elemento de su dominio, entonces la ecuación $U'(x^*)=0$, indica que, para el valor de $x = x^*$, la función U logra alcanzar su valor óptimo⁴⁵. Para el caso de una función de varias variables el criterio es similar, aquí se cambia la derivada por la derivada parcial, sobre cada una de las variables de la función y se igualan a cero, para así obtener los posibles candidatos que logren optimizar la función.

Suponga ahora que la función objetivo, esta sujeta a condiciones o restricciones con igualdad para $k \leq m$, es decir,

$$\begin{aligned} &\underset{x_1, x_2, \dots, x_n}{Opt} U(x_1, x_2, \dots, x_n) \\ &Sujeto a : g_1(x_1, x_2, \dots, x_n) = m_1 \\ &\quad \quad \quad g_2(x_1, x_2, \dots, x_n) = m_2 \\ &\quad \quad \quad \vdots \quad \quad \quad \vdots \\ &\quad \quad \quad g_k(x_1, x_2, \dots, x_n) = m_k \end{aligned} \quad (2)$$

En los problemas de optimización sin restricciones, el punto óptimo es aquel por donde pasa una tangente a la curva, de tal manera que su pendiente se hace cero en ese punto. La misma idea se persigue aquí, solo que ahora la pendiente que se busca es sobre las curvas de nivel de la función objetivo y la recta de restricción. Por lo tanto, en ese punto las derivadas implícitas deben de ser iguales. Para el caso de dos variables se tiene la siguiente expresión:

$$\frac{dy}{dx} g(y, x) = -\frac{g_x(x, y)}{g_y(x, y)} = -\frac{f_x(x, y)}{f_y(x, y)} = \frac{dy}{dx} f(y, x) \quad (3)$$

Si el punto (x^*, y^*) , resuelve el problema (2), para el caso de dos variables, entonces se puede afirmar, que la expresión en (3) se verifica para ambos lados, entonces (3) puede ser escrito de manera equivalente de la siguiente forma:

$$\frac{f_y(x, y)}{g_y(x, y)} = \frac{f_x(x, y)}{g_x(x, y)}$$

Este valor común para ambos cocientes se denota con la letra griega λ , el cual se le llama Multiplicador de Lagrange, por consiguiente la ecuación (3) puede ser escrita de la siguiente manera:

$$f_x(x, y) - \lambda \times g_x(x, y) = 0; \quad f_y(x, y) - \lambda \times g_y(x, y) = 0 \quad (4)$$

⁴⁵ Aquí se hace referencia al valor óptimo de una función a todos aquellos valores donde la función alcanza un valor mínimo o máximo global, dado que pueden existir mínimos y/o máximos locales para la función.

Entonces se puede definir ahora el Lagrangiano o la Función Lagrangiana de la siguiente manera:

$$\underset{x,y}{\text{máx}} L(x,y) = f(x,y) - \lambda \times (g(x,y) - m) \quad (5)$$

Con la función (5) se logra que la formulación inicial (2), que un problema de optimización con restricciones a un problema de optimización sin restricciones, y donde las expresiones en (4), representan las derivadas parciales de L con respecto a x e y . Es decir, son las condiciones de primer orden, deben anularse para un valor óptimo.

Volviendo al problema (2), el Lagrangiano generalizado estaría expresado de la siguiente manera:

$$\underset{x_1, x_2, \dots, x_n}{\text{máx}} L(x_1, x_2, \dots, x_n) = f(x_1, x_2, \dots, x_n) - \sum_{i=1}^k \lambda_i \times (g_i(x_1, x_2, \dots, x_n) - m_i)$$

Las condiciones de primer orden generan un sistema de ecuaciones de $n + k$ ecuaciones, las cuales son:

$$\frac{\partial L}{\partial x_i}(x_1, x_2, \dots, x_n) = 0, \quad \frac{\partial L}{\partial \lambda_i}(x_1, x_2, \dots, x_n) = 0 \quad \forall i = 1, \dots, k$$

Las soluciones del sistema de ecuaciones constituyen los posibles valores en lo que la función $f(\cdot)$ alcanza su valor óptimo. Esta metodología se le conoce como el Método de Khun-Tucker.

Ahora se le introduce dinámica al problema, es decir, se hace que las variables estáticas dependan ahora de un parámetro: el tiempo. Entonces el problema se puede plantear de la siguiente manera:

$$\underset{x(t)}{\text{Opt}} \int_0^{t_1} U(x(t), t) dt \quad (6)$$

Sujeto a : $x(0) = x_0$

Si además se le incorpora a la función objetivo de la ecuación (6) la derivada de la variable, el problema se convierte en un problema dinámico de horizonte temporal continuo. A través de esta derivada o tasa de crecimiento se obtiene información de las decisiones tomadas, lográndose así incorporar dinámica al sistema continuo. Esto se expresa de la forma siguiente:

$$\underset{x(t)}{\text{Opt}} \int_0^{t_1} U(x(t), x'(t), t) dt \quad (7)$$

Sujeto a : $x(0) = x_0$

En este caso $x'(t)$ es la derivada o tasa de crecimiento. La ecuación (7) representa un típico problema de cálculo variacional, cuya condición de primer orden es la siguiente:

$$\frac{\partial U}{\partial x} - \frac{d}{dx} \frac{\partial U}{\partial x'} = 0$$

La solución a esta ecuación corresponde a los valores para los cuales se alcanza el valor óptimo de nuestra función objetivo a optimizar.

En los problemas variacionales anteriores, se ha tomado como única restricción una condición inicial. Se esta condición se cambia por una condición de restricción del tipo de una ecuación diferencial, entonces esta se convierte en un problema de control óptimo.

9. Teoría de Control Óptimo

En estos casos los problemas están sujetos a restricciones que incluyen ecuaciones diferenciales (de primer orden) que describen la dinámica de cómo va evolucionando en el tiempo una variable, a la cual se denomina variable de estado y se representará por $x(\cdot)$ en un intervalo de tiempo $[t_0, t_1]$ dada una condición inicial $x(t_0) = x_0$. Además las variables estarán sujetas a una función dependiente del tiempo sobre la cual se tiene cierto control y el cual ejerce cierta influencia sobre el comportamiento de un sistema dinámico, es decir, es una variable de control. Esto se representará por $c(\cdot)$. De esta manera, la teoría de control busca de una forma óptima de gobernar un sistema dinámico: por ejemplo, el crecimiento económico.

Adicionalmente se puede indicar que la variable de estado se comporta de acuerdo a la siguiente ecuación diferencial:

$$\frac{dx}{dt} = \dot{x}(t) = g(x(t), c(t), t)$$

Es decir, el sistema está compuesto por una integral definida, cuyo integrando depende en su versión más general, tanto de la evolución intertemporal de las variables de estado, de la variable de control, así como del tiempo mismo.

$$\begin{aligned} & \underset{u(t)}{\text{Opt}} \int_0^{t_1} U(x(t), c(t), t) dt \\ & \text{Sujeto a } \dot{x}(t) = g(x(t), c(t), t) \end{aligned} \tag{8}$$

Donde $U(\cdot)$, $g(\cdot)$ y $x(\cdot)$ son diferenciables continuamente en todos sus argumentos y $c(\cdot)$ es una función continua. El objetivo es encontrar una trayectoria c^* que permita optimizar (8).

Por simplicidad se ha considerado una variable de estado y una variable de control, pero los problemas de control óptimo pueden tener múltiples variables de estado que evolucionan de acuerdo a una ecuación diferencial de primer orden y múltiples variables de control que puede ser mayor, menor o igual que el número de variables de estado.

De acuerdo a Bardey y Bonnet (2006), en el problema a optimizar se tendrán que tener en cuenta el horizonte, las condiciones iniciales y finales como dadas. El planificador o controlador dispone de

un vector de estado inicial predeterminado. El problema de control óptimo consiste, entonces, en establecer la trayectoria óptima, es decir, la trayectoria que optimiza (maximiza o minimiza) el objetivo del planificador, teniendo en cuenta la relación que une el vector de estado al vector de control. El principio del máximo elaborado por Pontryagin⁴⁶ permite descomponer este problema en dos etapas.

Como señalan Bardey y Bonnet (2006), la primera etapa para la solución del problema consiste en devolver el problema a uno de optimización estática a cada instante t , mientras que la segunda etapa es la solución de un sistema de ecuaciones diferenciales definido por las condiciones necesarias de optimalidad del problema estático.

La primera etapa se basa en que a cada instante t , el planificador dispone de un vector de estado $x(t)$ y debe escoger un vector de control $u(t)$ que determina simultáneamente el valor del objetivo al instante t , dado por $f(\cdot)$ y la variación del vector de estado definido por $\dot{x}(t)$. La elección del vector genera entonces dos efectos: un primer efecto, inmediato a través del valor instantáneo del objetivo, un segundo, al nivel de cambios de la variable de estado. Intuitivamente sabemos que si el vector de control es escogido para maximizar sólo el valor instantáneo del objetivo, esta elección tiene poca probabilidad de ser óptima.

Bardey y Bonnet (2006) lo plantean de la siguiente forma: “*Se presenta entonces un arbitraje en la determinación del vector de control óptimo entre el valor que uno puede asignar al objetivo instantáneo y la trayectoria tomada por la variable de estado que tendrá un efecto sobre los valores futuros de la función objetivo. La variación de la variable de estado puede entonces ser interpretada como una restricción. De manera similar al método utilizado para resolver un problema de optimización estática, este arbitraje es tenido en cuenta asociando un precio a esta restricción. Técnicamente ésta consiste en escribir una función objetivo modificada que tiene en cuenta estos dos efectos: Un vector de multiplicadores (o de precios) asociado a las variaciones del vector de estado (en el momento t) denominado por $\lambda(t)$ y la determinación del vector de control. Este objetivo modificado, se denomina hamiltoniano*”, y se define en la sección siguiente.

10. Formulación del Hamiltoniano

La técnica de optimización consiste en adicionar variables constantes $\lambda(t)$ para el problema, definiendo una nueva función llamada Hamiltoniano, con las siguientes condiciones necesarias:

$$H(x(t), u(t), \lambda(t), t) = f(x, u, t) + \lambda(t)g(x, u, t) \quad (8)$$

Condición de optimalidad

$$\frac{\partial H}{\partial u} = f_u + \lambda \times g_u = 0$$

Ecuación constante

$$\dot{\lambda} = -\frac{\partial H}{\partial x} = -(f_x + \lambda \times g_x)$$

⁴⁶ Este principio viene a ser el símil de las condiciones de Khun-Tucker, para los problemas de optimización estática restringida, este resultado establece ciertas condiciones necesarias para la dinámica y las variables de control.

Ecuación de estado

$$\dot{x} = -\frac{\partial H}{\partial \lambda} = g$$

con $x(t_0) = x_0$

Condición terminal

$$x(t_1) \geq 0 \quad \lambda(t_1) \geq \frac{\partial I}{\partial x}$$
$$\lambda(t_1) = \frac{\partial I}{\partial x} + \tilde{\lambda} \times \frac{\partial g}{\partial x}$$

Con $\tilde{\lambda} \geq 0; \quad x(t_1) = g(x(t_1), t_1)$

Finalmente, se señala que en muchos problemas de control óptimo que se estudian en economía, aparece en la función objetivo un factor de descuento $e^{-\rho t}$ [ver la función de los Hogares], para lo cual se trabaja con una solución llamada Hamiltoniano de Valor Presente que introduce apropiadamente el factor de descuento en cada una de las ecuaciones mencionadas anteriormente.

En función de las ecuaciones planteadas anteriormente que sirven como marco de referencia para el tema de teoría de control se procederá a plantear el modelo y a resolver el problema de control. Como se ha señalado, el problema consiste en determinar las trayectorias óptimas de consumo y de capital en el tiempo, en alguna condición de equilibrio de mercado que considere las restricciones de los hogares, de la producción y del gobierno. Este problema de optimización dinámica se basa en la utilización de variables de control que permiten maximizar una función objetivo sujeta a restricciones. La estructura del artículo, será:

- I. Introducción
- II. Revisión de literatura y desarrollo conceptual
- III. El modelo
- IV. Solución de modelo
- V. Líneas futuras de investigación y limitaciones
- VI. Conclusiones y recomendaciones
- VII. Referencias
- VIII. Anexos

Referencias Bibliográficas

1. Agénor, P.R. (2005) "Infrastructure Investment and Maintenance Expenditure: Optimal Allocation Rules in a Growing Economy" Working Paper No.60, Centre for Growth and Business Cycle Research, University of Manchester (September 2005)
2. Aghion, P. y Howitt, P. (1998), Endogenous Growth Theory, The MIT Press, Cambridge.
3. Bardey, D. y H. Bonnet (2006) Teoría del control óptimo: ¡Una guía para principiantes! Borradores de Investigación 87, Enero 2006 Universidad del Rosario
4. Barro, R. (1990) "Government Spending in a Simple Model of Endogenous Growth" Journal of Political Economy, 98,5, S103-S105
5. Barro, R. y Sala-i-Martin, X. (1995) Economic Growth, Mc Graw-Hill, New York.

6. Black, F. y Scholes, M. (1973) "The Pricing of Options and Corporate Liabilities"
Journal of Political Economy 81 (3): 637-654.
7. Calcagno, J., Licari, J. y Pellegrini, S. (2003) Notas sobre control óptimo. Aplicaciones a la Teoría del Crecimiento Económico, Series de Estudio N° 40. Instituto de Economía y Finanzas. Universidad Nacional de Córdoba.
8. Cerdá, E. (2001) Optimización Dinámica. Prentice Hall, Madrid.
9. Chiang, A. (1992) Elements of dynamic optimization, Mc Graw-Hill, New York.
10. Chiang, A. (1987) Metodos Fundamentales de Economia Matematica. Mc Graw-Hill, New York
11. Leonard, D. y N. Van Long (1992) Optimal control theory and static optimization in economics, Cambridge University Press.
12. Lomeli, H. y B. Rumbos (2001) Métodos Dinámicos en Economía. Instituto Tecnológico Autónomo de México 2001.
13. Sala-I-Martin X. (1994) Apuntes de Crecimiento Económico. Segunda edición. Antoni Bosch.

TRABAJO N° 2

VALORACIÓN DE GARANTÍAS FINANCIERAS: UN CASO PARTICULAR DE OPCIÓN REAL APLICADO AL CORREDOR AMAZONAS CENTRO EN PERÚ

Introducción

A partir del trabajo de Polackova (1998) y del Código de Transparencia Fiscal del IMF (2001), el sector público en varios países ha reconocido la importancia de la administración, valorización y contabilización de los pasivos contingentes que se generan como consecuencia de los soportes fiscales que se otorgan a programas y proyectos públicos. Los pasivos contingentes son aquellos pasivos que se tienen que pagar solamente bajo la ocurrencia de algún evento específico. En otras palabras, no existe certeza sobre el monto, ni oportunidad en que hay que hacer los pagos. El ejemplo más común de un pasivo contingente son las garantías financieras que otorgan los diferentes gobiernos. Las garantías financieras estatales más utilizadas son las que se otorgan a los depósitos bancarios privados [Merton (1977), Hanc (2001), Calomiris (1990), García (1999)], y a partir de la década de los noventa se han popularizado las garantías estatales a las pensiones mínimas [Di Giacinto and Gozzi (2007), Stewart (2007)] y las garantías estatales a proyecto de infraestructura pública a través de asociaciones público-privadas [Hemmin (2006), IMF (2004)].

La presencia de soporte gubernamental, para facilitar el desarrollo de proyectos de infraestructura pública con participación del sector privado, es ampliamente usada en varios países para impulsar las asociaciones públicas privadas [public-private partnerships (PPP)]. PPP es un concepto relacionado con proyectos y se encuentra en la literatura existente una gama amplia de definiciones. Sin embargo es posible definir PPP como una relación público-privada materializada en un contrato entre una organización pública y una compañía privada (sociedad de propósito específico) para la provisión de infraestructura y de sus servicios relacionados en el largo plazo (promedio 20 años), financiado principalmente a través de pagos diferidos en el tiempo por parte del Estado y/o de los usuarios a través de tarifas o, peajes [Fitzpatrick (2006), Esteban (2006), Hart (2003)]⁴⁷. Dicha asociación, cuya aplicación más frecuente en América Latina son las concesiones de infraestructura, particularmente en el sector transporte, se traduce en retención y transferencias de riesgos por parte del ente público, bajo un enfoque de asignación del agente mejor preparado. La retención de riesgos por parte del sector público se materializa en la forma de subsidios directos, extensiones tributarias y aduaneras, contribuciones de capital en la sociedad de propósito exclusivo, garantías soberanas y/o garantías específicas como tráfico e ingresos mínimos.

Discusión sobre el tipo de soporte específico y ejemplos de aplicación en países puede encontrarse en Tiong (1995), Dailami y Klein (1997), Klein (1997), Dailami y Leipziger (1997), Lewis y Mody (1998), World Bank (1999), Gómez-Lobo e Hinojosa (1999), Abdul-Azis (2001), Currie (2002), Irwin (2002), Budina et al (2007), Fitch Rating (2002, 2007), Ministerio de Hacienda en Chile (2007) y Ministerio de Economía y Finanzas en Perú (2007). Sin embargo, pocos estudios se encuentran disponibles y constituyen información pública sobre valorización de garantías estatales. Estudios recientes sobre desarrollos teóricos con aplicaciones numéricas pueden encontrarse en Wibowo (2004 y 2006), Velásquez y Carpio (2007) y Brandão y Saraiva (2007).

En los últimos años en Perú, el sector público ha impulsado de manera creciente esquemas de asociación público-privada principalmente mediante concesiones en el sector transporte y

⁴⁷ Al caso particular de PPP en la cual solamente las infraestructura se financian con pagos del gobierno, en México se les denominan Proyectos de Prestación de Servicios (PPS) y en Perú Concesiones Cofinanciadas (CCF)

particularmente en el sector de carreteras. Solamente en el periodo 2003-2007 se han otorgado concesiones de infraestructura vial que totalizan compromisos de inversión por más 1,000 millones de dólares entre los cuales se cuentan los ejes IIRSA⁴⁸. En la mayoría de los casos se han considerado soportes estatales materializados en pagos del Estado y en garantías financieras denominadas en dólares y que tienden a cubrir principalmente riesgos de tráfico. Uno de esos proyectos que fuera incorporado en el plan de promoción del gobierno ha sido el Eje Vial Amazonas Centro. El eje vial conecta la ciudad de Lima con el puerto fluvial de Pucallpa, tiene una longitud de 850 km., una inversión estimada en obras iniciales y mantenimiento de 350 millones de dólares y considera plazas de peajes en 8 tramos de la carretera, y un período de concesión de 30 años. En el diseño de la transacción el gobierno ha considerado otorgar una garantía de tráfico denominada Ingreso Mínimo Anual Garantizado (IMAG). La garantía funciona como sigue: para cada uno de los primeros 27 años el gobierno otorga una garantía anual en dólares. Si los ingresos que recauda cada año el concesionario en cada una de las 8 plazas de peajes son menores al monto garantizado por el gobierno, la garantía se activa y en consecuencia el Estado paga la diferencia. Como no existe certeza sobre su pago ni sobre el monto del pago, ni sobre el año que se activará y el momento en que hay que hacer los pagos, entonces el IMAG es un pasivo contingente para la República de Perú.

El documento se organiza como sigue: en una primera sección se plantea el problema y se presentan las preguntas de investigación. En la segunda sección se revisa la literatura sobre el marco conceptual de valoración de garantías financieras. En la tercera sección, se presenta la metodología que permite enfocar una garantía financiera del tipo IMAG como una opción de venta. En la cuarta sección, se muestra los resultados de valoración a través del método de valoración de opciones financieras propuesto por Black y Scholes (1973), la que comienza con la verificación del proceso aleatorio que subyace en la serie de tráfico. Adicionalmente se presentan la metodología y los resultados de una simulación de garantías a través de Montecarlo. Finalmente se presenta una sección de conclusiones y discusión.

I. Planteamiento del problema

Con la finalidad de cubrir las diferentes tipologías de riesgos de ingresos y de esta forma facilitar el financiamiento privado, los gobiernos suelen establecer una garantía financiera para cubrir los problemas de descensos en los ingresos del concesionario por razones exógenas a la marcha de la concesión y que son difícilmente diversificables en el mercado de seguros privados. Esta garantía se activa cuando los ingresos del concesionario no alcanzan un cierto nivel prefijado por el Estado.

Al respecto es importante señalar conceptualmente que el riesgo de ingresos se puede dividir en cuatro grupos: i. Riesgo de demanda: actividad económica (PBI), precio de la gasolina y población de pares origen-destino ii. - Riesgo de competencia: la posibilidad de que una nueva infraestructura o modo de transporte disminuya la demanda y se produzcan cambios en la composición vehicular y iii. Riesgo de facturación y cobro: especialmente importante para los nuevos sistemas de cobro electrónico de peajes o sectores donde la plaza de peaje puede encontrar diferentes by pass, protestas y rechazos de la población a pagar peajes iv. Riesgo de variación de la tarifa o precio por el servicio definidos por la entidad promotora o reguladora.

Un financiamiento de largo plazo con riesgo de ingresos y en consecuencia de tráfico es difícil de obtener en el mercado de capitales, más aún cuando no existe ninguna experiencia en el país para gerenciar y administrar dichos riesgos a nivel del sector público. La posibilidad que los ingresos efectivos de la concesión bajen desde un periodo a otro hace que cualquier instrumento de deuda

⁴⁸ Iniciativa para la Integración de la Infraestructura Regional Suramericana (IIRSA).

disminuya en su clasificación y en su calidad crediticia, lo que encarece el costo financiero del proyecto, y en la mayoría de los casos lo hace inviable de implementar. Para verificar lo anterior juegan un rol central las estimaciones futuras de los tráficos de la concesión que realizan empresas especializadas. Sin embargo, la evidencia empírica en este tipo de predicciones es muy variada y no es muy alentadora en la mayoría de casos. En efecto, recientemente Standard and Poor's (2004) realizó un estudio considerando 87 carreteras de peajes, determinándose que en 63 de los casos las estimaciones de tráfico futuro sobre-valoraron el tráfico real. De estas estimaciones presentadas, el resultado medio es de 0.76, lo que significa que, en promedio, se registra un nivel de predicción del tráfico equivalente al 76%. El índice de predicción mide el volumen actual de tráfico respecto al nivel de tráfico predicho. Por ejemplo, un índice de 0.5 significa que el nivel real de tráfico fue la mitad del nivel de tráfico estimado.

En el escenario anterior, la protección a través de una garantía estatal frente a la caída de los ingresos, es una poderosa herramienta para incentivar la participación del sector privado en proyectos viales, especialmente en procesos que están partiendo y que no tiene historia (*Start-Up*) y los cuales son por esencia de recurso limitado.

En general, en los contratos de concesión se establece que el gobierno paga la diferencia entre los ingresos efectivos por peajes (Y) y el valor definido por IMAG. Si los ingresos totales caen por debajo de IMAG entonces el Estado paga la diferencia. En este sentido, si el financiamiento se estructura en función de IMAG, siempre los intereses y el capital de deuda privado están garantizados por el gobierno, tomando la garantía un valor igual a la diferencia ($IMAG_t - Y_t$) si $Y_t < IMAG_t$ o el valor de cero si $Y_t > IMAG_t$.

¿Es posible modelar la garantía IMAG usando para ello la tecnología que proporcionan las opciones financieras? ¿Si es así, los métodos de valoración de pasivos contingentes y particularmente de garantías financieras se pueden aplicar al caso de IMAG? ¿Cuál es el proceso estocástico que sigue la serie de tráfico? ¿Cuál es el valor del pasivo contingente que se genera en la concesión del corredor vial Amazonas Centro?. Las preguntas anteriores se responden en el desarrollo del documento.

II. Revisión de Literatura

Una primera aproximación para la valoración de garantías está basada en la teoría de la utilidad esperada de Von Neumann-Morgenstern [(1944)] y en el modelo de seguros de Savage (1958). Los individuos aversos al riesgo, es decir aquellos que están dispuestos a pagar por evitar riesgo, y por lo tanto a asegurarse o comprar una garantía, de acuerdo a Savage (1958), deben pagar una prima actuarialmente justa por un seguro que es exactamente igual a la probabilidad esperada del desastre. Savage basa sus resultados en supuestos sobre mercados competitivos de seguros e información perfecta entre los agentes. Recientes desarrollos relajan el supuesto de información perfecta incorporando información asimétrica, en el cual individuos y firmas están sujetos a riesgos de selección adversa y riesgo moral, en la cual la relación contractual puede ser modelada bajo esquemas agente-principal [Rothschild and Stiglitz (1976), Landsberger and Meilijson (1996)].

Una segunda línea es un método indirecto en el sentido que no necesariamente se valorizan garantías sino instrumentos financieros de renta fija (en adelante bonos), con probabilidad de incumplimiento por riesgos de crédito. Este enfoque está a su vez dividida en dos grupos: i.- Análisis de demandas contingentes (*Contingent Claims Analysis*, en adelante CCA) apoyados en los trabajos seminales de Black y Scholes (1973) y Merton (1973, 1974) que se basan en valoración de opciones financieras y se extienden a una amplia gama de activos, entre esos garantías financieras y

ii.- Los modelos de preferencias de estado (*State Preferentes*) donde se encuentra una larga lista de artículos y metodologías enfocadas a la valoración de bonos con riesgo de “default”, aunque sus aplicaciones empíricas son todavía escasas. Desde el punto de vista teórico es posible encontrar dos tipos de corrientes. En la primera se tienen estudios dónde el evento de default depende de alguna variable estocástica, y en cierto sentido siguen la lógica de los modelos de inventarios. Ejemplos de esta corriente son Longstaff y Schwartz (1995), Schobel (1999) y Hiu y Lo (2000). En la segunda corriente, existe una probabilidad instantánea de default y por lo tanto la amenaza de default podría aparecer en cualquier momento de la vida financiera del instrumento. Los estudios más importantes en esta línea son Jarrow y Turnbull (1995), Madan y Unal (1998) y especialmente el modelo de Duffie y Singleton (1997 y 1999). La conversión desde una valoración por riesgo de crédito a una valoración de garantías es modelar el valor de la garantía como el precio de un bono libre de riesgo menos el precio de un bono con riesgo de default.

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

1. Valoración a través 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) y que pertenece a esta clase de soluciones. Desgraciadamente, debido a las particularidades de cada problema, no siempre es posible encontrar soluciones analíticas o verificar el cumplimiento de los supuestos del modelo⁴⁹ y es necesario intentar analizar algunos de los otros procedimientos.
2. Valoración por programación dinámica. Este método es esencialmente numérico y esta basado en la optimalidad de las decisiones de los agentes en cada momento del tiempo. El método más común dentro de esta clase es el de árboles binomiales desarrollado por Cox, Ross y Rubinstein (1979).
3. 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 es el de Montecarlo, que en su aplicación a valoración de opciones ha sido propuesto por Boyle (1997), el cual se ha popularizado en los últimos años por la existencia de computadores de alto poder de memoria y rapidez.

III. Metodología de Valoración a través de Opciones

Siguiendo el análisis CCA desarrollado por Merton (1974), es posible analizar los IMAG desde la perspectiva de la teoría de opciones. En efecto, el valor presente de una garantía para un préstamo es el monto que se estaría dispuesto a pagar por evitar el riesgo de default. Es fácil ver que esto será la diferencia entre el valor presente neto de un préstamo garantizado menos el valor presente neto de un préstamo sin garantías. Merton (1974) muestra a través de un simple reemplazo algebraico que el valor de la garantía es igual a una opción de venta (put option) en los activos de la empresa.

El cuadro 1 muestra la comparación entre dos esquemas de pagos. El primero es el caso estándar de una *put option*, dónde el activo subyacente es la evolución del precio de la acción y el segundo es la modelación de la garantía dónde el activo subyacente es el ingreso por peajes o cuotas.

⁴⁹ Por ejemplo que la tasa de interés es constante y es posible prestar o pedir prestado a esa tasa montos globales o fraccionarios, la volatilidad es constante, no hay pagos extraordinarios (dividendos en el caso de una acción), es posible realizar ventas descubiertas y no hay penalizaciones, el proceso del activo subyacente es Browniano y no existen costos de transacción.

CUADRO 1: COMPARACIÓN ENTRE ESQUEMAS DE PAGO

Activo Subyacente	Volatilidad	Pagos
S, por ejemplo precio de acciones o tasa de interés	σ_s	1. $p = E - S$ si $S < E$ 2. $p = 0$ si $S \geq E$
Y, Ingresos por peajes	σ_y	1. $p = (IMAG - Y)$ si $Y < IMAG$ 2. $p = 0$ si $Y \geq IMAG$

En el caso que S fuera una acción, el comprador de una opción put tiene el derecho pero no la obligación de vender a un precio E. De esta forma, el tenedor de la opción vende a E y compra en el mercado a un precio S (menor que E) obteniendo como ganancia la diferencia (E-S). Por otra parte el vendedor de una Put tiene la obligación de comprar las acciones al precio prefijado E.

En el caso de Y, que son los ingresos por peajes, el comprador de una opción Put que es el Concesionario tiene el derecho de ejercer la opción si los Y, son menores a IMAG. En este caso, el concesionario le vende al gobierno los flujos de ingresos a un precio IMAG. Por su parte el vendedor, que en este caso es el gobierno tiene la obligación de comprar el flujo a un precio IMAG y actuando como creador de mercado le paga la diferencia entre IMAG e Y. La formulación de la garantía es:

$$G(Y, 0, IMAG) = \text{Max}(IMAG - Y, 0)$$

Asumiendo un proceso estocástico para los ingresos por peajes de la forma:

$$\frac{\Delta Y}{Y} = \mu_y \Delta t + \sigma_y \Delta z$$

El valor de la garantía según la formulación de Black y Scholes es:

$$G(Y, t, IMAG) = -YN(-d_1) + IMAG e^{-rt} N(d_2)$$

siendo:

$$d_1 = \frac{\ln(Y / IMAG) + (r + 1/2\sigma_y^2)t}{\sigma_y \sqrt{t}}$$

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

Es fácil apreciar de la operación del mecanismo que:

- a) Cuando $Y_t < IMAG_t$ el ingreso percibido por el concesionario es considerado muy bajo y por lo tanto corresponde que el Estado le indemnice. La forma como modelar este pago es a través de una opción de venta de los ingresos del concesionario al Estado, vale decir, el concesionario tiene la opción de vender el total de sus ingresos recaudados al Estado al precio $IMAG_t$ fijado en el contrato. Evidentemente, ello solo será conveniente para el concesionario si el Y_t resulta menor a $IMAG_t$. En términos financieros, el Estado vende al concesionario una opción put (opción de venta) con precio de ejercicio $IMAG_t$.
- b) Existirán tantas opciones put como periodos de concesión. Vale decir, si el plazo de concesión es de 30 años y la garantía está activa por 25 años, el Estado le entrega al concesionario un paquete de 25 opciones put.

- c) Dado que las opciones put pueden ser modeladas y valoradas con distinto plazo de ejercicio, el valor del paquete será simplemente la suma del valor de las opciones que lo componen.

IV. Resultados de la valoración

4.1 Proceso de movimiento browniano para la serie de tráfico

Un aspecto central en la valoración las garantías tiene relación con el tipo de proceso estocástico y la distribución que sigue la variable subyacente. Para la aplicación de los modelos de Merton (1974), una condición necesaria es que la variable siga un proceso de movimiento geométrico Browniano (PGB).

Un proceso de movimiento browniano en tiempo continuo corresponde a un proceso de camino aleatorio (Random Walk) en tiempo discreto. La demostración formal puede encontrarse en Hamilton (1994)⁵⁰ y una demostración más intuitiva en Shimko (1992)⁵¹ y Mills (1999). Para efectos de la valoración de la garantía, la importancia de lo anterior radica en que solamente se dispone de información discreta de las series de tráfico de vehículos y ejes por vehículo con una periodicidad diaria.

El proceso Browniano no es posible probarlo estadísticamente y directamente, y se debe recurrir a la equivalencia anterior para trabajar en tiempo discreto. Sabemos que si la serie de tiempo sigue un proceso de camino aleatorio con o sin tendencia entonces sigue un PGB. En econometría de series de tiempo existe bastante instrumental analítico y de aplicación para estudiar el comportamiento de series de tiempo que siguen caminos aleatorios. Una de las más utilizados son los análisis de raíz unitaria.

Tanto en Hamilton (1994) como Shimko (1992) se denota un proceso RW como:

$$Y_t = Y_{t-1} + \varepsilon_t$$

Donde ε es una variable normal estándar

$$\varepsilon_t \sim i.i.d. N(0,1)$$

Si el proceso comienza en $Y_0 = 0$, entonces:

$$Y_t = \varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3 + \dots + \varepsilon_t$$

Donde $Y_t \sim N(0,t)$

Más aún, el cambio en el valor de Y entre las fechas t y s está determinado por:

$$Y_s - Y_t = \varepsilon_{t+1} + \varepsilon_{t+2} + \dots + \varepsilon_s$$

Donde el proceso se distribuye como $N[0, s - t]$ y es independiente de los cambios en las fechas r y q para cualquier intervalo $t < s < r < q$

A su vez de manera general un movimiento Browniano estándar $W(\cdot)$ es un proceso estocástico en tiempo continuo tal que:

a) $W(0) = 0$

b) Para cualquier fecha $0 \leq t_1 < t_2 < \dots < t_k \leq 1$, el cambio

⁵⁰ Capítulo 17 páginas 477-488

⁵¹ Capítulo 1 páginas 2 -8

$$[W(t_2) - W(t_1)], [W(t_3) - W(t_2)], \dots, [W(t_k) - W(t_{k-1})], \text{ es independiente con :}$$

$$[W(s) - W(t)] \approx N(0, s - t)$$

En consecuencia, lo que se estudiará, es si la serie de tiempo sigue un proceso de camino aleatorio, y particularmente si la serie tiene una raíz unitaria. Una de las pruebas para determinar estadísticamente si una serie de tiempo sigue un proceso de camino aleatorio, es el test Dickey-Fuller (DF), el cual asume tres posibles casos donde Y_t puede ser obtenida por procesos generadores de datos (PGD) sin dirección, con dirección y con tendencia lineal.

Para una serie Y_t podemos entonces estimar las siguientes regresiones:

$$\text{i) } Y_t = \rho \times Y_{t-1} + \varepsilon_t \quad \text{ii) } Y_t = \alpha + \rho \times Y_{t-1} + \varepsilon_t \quad \text{iii) } Y_t = \alpha + \delta \times t + \rho \times Y_{t-1} + \varepsilon_t$$

Cuando ρ es igual a 1 se dice que la serie sigue un proceso de camino aleatorio. Vemos que en la ecuación a) hacemos $\rho=1$ y se transforma en el modelo RW sin dirección. Para la estimación del parámetro de raíz unitaria, la distribución asintótica de $\hat{\rho}$ dependerá si el PGD es i), ii) o iii). En el caso de a) un test de raíz unitaria para la hipótesis nula $H_0: \rho = 1$ se construye con $t\text{-Student} = \frac{(\hat{\beta} - 1)}{SE(\hat{\beta})}$

En el caso de ii) adicionalmente se debe considerar la hipótesis conjunta $H_0: \alpha = 0$ y $\rho = 1$ y en el caso de iii) la hipótesis conjunta $H_0: \alpha = 0, \rho = 1$ y $\delta = 1$. Los valores críticos de la distribución asintótica F para la hipótesis conjunta se encuentran en Maddala y Kim (1998).

Las pruebas anteriores no son lo suficientemente potentes en la presencia de hipótesis alternativas de cambio estructural y presentan un sesgo asintótico hacia la raíz unitaria. Por lo tanto, se han desarrollado una nueva generación de pruebas para verificar la raíz unitaria. En efecto, el método más común para discriminar un modelo u otro es a través del test Dickey-Fuller Aumentado (ADF). ADF es paramétrico y consiste en estimar la ecuación:

$$Y_t = \alpha + \beta t + \rho Y_{t-1} + \sum_{i=1}^k \delta_i \Delta Y_{t-1} + \varepsilon_t$$

Para realizar una prueba de hipótesis: $\rho = 1$, donde Y_t es la serie bajo análisis, Δ es la primera diferencia de Y_t y k es el número de rezagos necesarios para hacer que el error sea un ruido blanco⁵².

Un test alternativo no paramétrico se conoce como test de Phillips - Perron Z, el cual no emplea rezagos de las diferencias de las series. Dado que en este caso no es posible garantizar que el residuo sea ruido blanco, una corrección a través de autocorrelación debe ser realizada. La ecuación puede ser estimada directamente por mínimos cuadrados ordinarios (MCO) y luego el estadístico "t" del coeficiente ρ es corregido. La hipótesis nula H_0 del test de Phillips-Perron es la trayectoria de raíz unitaria con tendencia y la alternativa la estacionariedad con tendencia, si el valor t-Student asociado al coeficiente de Y_{t-1} es mayor en valor absoluto al valor crítico de MacKinnon, se rechaza la hipótesis de existencia de raíz unitaria. Los valores críticos para este test pueden ser encontrados en Hamilton (1994).

⁵² Un ruido blanco es una serie de tiempo estacionaria dónde ninguna observación influye o tiene efectos sobre las siguientes.

La información de la serie de peajes fue obtenida del Ministerio de Transporte y Comunicaciones para el periodo 1996 - 2004. Para la serie de peajes agregada los test ADF y PP-Z fueron conducidos. Los resultados de la aplicación de los test con EViews 5.0 se resumen a continuación:

CUADRO 2: TEST DICKEY-FULLER AUMENTADO Y EL TEST PHILLIPS- PERRON Z

	ADF Tau Test	PP Z Test
Tráfico	-3.31 (21)	-29.26

Nota: El paréntesis indica el número óptimo de rezagos de acuerdo al criterio de información de Akaike

CUADRO 3: VALORES CRÍTICOS PARA EL TEST DICKEY-FULLER AUMENTADO Y EL TEST PHILLIPS- PERRON Z

Tamaño Muestral T	ADF y PP-Z	
	1%	1%
100	-4.04	-3.45
250	-3.99	-3.43
500	-3.98	-3.42
∞	-3.96	-3.41

Fuente: Hamilton (1994) Tabla B.6

Bajo el test de Dickey-Fuller Aumentado no es posible rechazar la hipótesis nula $\rho=1$, por lo tanto la serie exhibe raíz unitaria y en consecuencia es posible predecir que la serie sigue un proceso general de camino aleatorio lo que en tiempo continuo corresponde a un proceso de movimiento browniano o proceso Wiener. Sin embargo bajo el test Test Phillips- Perron- Z no es posible aceptar la hipótesis nula que la serie tiene una raíz unitaria. Es importante señalar que todas las pruebas anteriores tienen el problema de experimentar errores tipo II frente a la presencia de cambio estructural tanto en la constante o en la tendencia.

4.2 Aplicación a través de las formulaciones de Black y Scholes

Para la valorización se asume que el modelo de ingresos por tráfico sigue un movimiento browniano geométrico. Matemáticamente,

$$\Delta Y = \mu_y Y \Delta t + \sigma_y Y \Delta z$$

Donde

- Y_t Es el ingreso por tráfico del período t,
- μ_y Es la tasa de crecimiento esperada de los ingresos por tráfico
- Δt Es un incremento del tiempo
- σ_y Es la volatilidad del crecimiento del tráfico
- Z Es una variable aleatoria normal estándar

Donde σ y μ son constantes y donde $\Delta Y/Y$ es normalmente distribuida con media $\mu \Delta t$ y desviación estándar $\sigma \sqrt{\Delta t}$

$$\frac{\Delta Y}{Y} \rightarrow \phi(\mu_y \Delta t, \sigma_y \sqrt{\Delta t})$$

Intuitivamente el modelo asume que los ingresos crecen a una tasa μ con shocks aleatorios alrededor de la media.

El modelo de ingresos por peajes en tiempo discreto puede ser expresado como⁵³:

$$Y_t = Y_{t-1} \exp\left(\mu_Y - \frac{\sigma_Y^2}{2} + \sigma_Y \tilde{Z}_t\right)$$

Las garantías son derivados, en el sentido que su valor depende (es un derivado de) del valor de la variable o variables subyacentes (ingreso por tráfico). Si la variable(s) subyacente fuera títulos negociables el problema de la valoración sería más simple. Pero como el ingreso por tráfico no son activos negociables, la valoración es conceptualmente más compleja y también menos precisa.

Al respecto se asume que: i) no existen costos de transacciones entre el concesionario y el Gobierno, ii) los ingresos por tráfico son perfectamente divisibles y iii) no existen oportunidades de arbitraje libres de riesgo.

Para la aplicación del modelo de Black y Scholes, la tasa de interés libre de riesgo se asume constante e igual para todos los periodos. Esta se supone en 7.80% que proviene de la tasa del tesoro de los bonos de USA más un premio por riesgo país. La prima por riesgo país se asume en 2%.

Un modelo simple para el producto interno bruto (PBI) sigue un movimiento browniano geométrico:

$$\frac{dPBI_t}{PBI_t} = \mu_{Y,t} dt + \sigma_{PBI} \sqrt{dt} \hat{Z}_t$$

Donde μ_Y es la tasa de crecimiento esperada del PBI, σ_Y es su volatilidad, y \tilde{Z} es de nuevo una variable aleatoria normal estándar.

Dado lo anterior, para simplificar el modelo se asume que la elasticidad ingresos de los ingresos por tráfico respecto al PBI es igual a 1.

Por lo tanto si el proceso estocástico de ambas variables es similar y si además se asume que el crecimiento del PBI está directamente relacionado con el crecimiento de los ingresos por peajes es posible asumir, sin pérdida de rigurosidad que la volatilidad del PBI es una variable Proxy de la volatilidad de la tasa de crecimiento de los ingresos. En consecuencia: $\sigma_{PBI} \cong \sigma_Y$. De esta forma calculando la volatilidad de la tasa de crecimiento del PBI se aproxima a la tasa de crecimiento de los ingresos por peajes.

⁵³ Aplicando el Lema de ITO la derivación es directa. Si X_t sigue un movimiento browniano geométrico entonces, por el lema de Ito, una función de X_t , $G(X_t)$ se expresa como

$$dG_t = \left(\frac{\partial G}{\partial X} \mu X_t + \frac{\partial G}{\partial t} + \frac{1}{2} \frac{\partial^2 G}{\partial Y} \sigma^2 X_t^2 \right) dt + \frac{\partial G}{\partial X} \sigma X_t \sqrt{dt} d\tilde{Z}$$

Al respecto, un estudio preparado por SDG (2005) para el Corredor Vial señala que se puede deducir que la elasticidad Ingreso/PBI varía entre 0.95 y 1.04, entre los años 2007 y 2025 lo cual significa que por cada variación de un 1% en el PIB, la recaudación varía en la misma proporción aproximadamente. En cambio, el año 2006 el impacto del PBI es aún mayor ya que por cada variación de un 1% en el PBI, la recaudación varía en 1,31%.

El cálculo de la volatilidad es usualmente observado en un intervalo de tiempo fijo. Definiendo n como el número de observaciones, Si el valor de activo subyacente al final del intervalo se tiene que:

$$\mu_i = \ln\left(\frac{S_i}{S_{i-1}}\right)$$

Dado que $S = S_{i-1} e^\mu$, donde μ es el retorno compuesto instantáneo. Una estimación usual de la desviación estándar de los μ está dado por:

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\mu_i - \mu_m)^2}$$

Donde μ_m es la media de μ_i . Usando cifras del PBI en Perú desde el año 1950 al año 2004 la volatilidad asciende a 5.02%.

En el siguiente cuadro se muestra la volatilidad del Producto Bruto Interno según diferentes cortes temporales:

CUADRO 4: VOLATILIDAD PBI SEGÚN CORTES TEMPORALES

Periodo	Volatilidad σ
1950-2004	5.02%
1970-2004	5.67%
1980-2004	6.40%
1990-2004	4.12%

En consecuencia para mayor grado de confiabilidad en las valoraciones además de la volatilidad del 5%, se simulan volatilidades del 10% y 15%. En el siguiente cuadro se muestra información agregada de las tasas de crecimiento de las plazas de peajes de Corcona y Chullqui y de volatilidades.

CUADRO 5: VOLATILIDAD Y TASA DE CRECIMIENTO PARA PLAZAS DE PEAJE CHULLQUI Y CORCONA

Plaza de Peaje	Volatilidad σ	Tasa de Crecimiento 1996-2004
Chullqui	8.27%	0.51%
Corcona	5.87%	0.35%

En este caso las volatilidades de los tráficos medios diarios calculados en forma mensual asciende a 8.27% y 5.87% para las plazas de peaje de Chullqui y Corcona respectivamente que se encuentran dentro del rango de volatilidad del PBI.

Como se ha señalado, habrá tantas opciones put como número de años de pagos garantizados. Se asume que un periodo de modelación de la garantía por un periodo de 25 años⁵⁴, y por lo tanto el

⁵⁴ No se modelan el primer año por generarse un salto importante en los ingresos producto de la no operación de la totalidad de las plazas de peajes consideradas en el Contrato de Concesión.

gobierno entrega al concesionario un paquete de 25 opciones put que se interrelaciona de manera independiente año a año.

En el sentido, la activación de una garantía en un periodo específico no implica que necesariamente deberá activarse para otro periodo específico o que acelere la terminación anticipada del contrato de concesión⁵⁵.

En consecuencia el valor global de los ingresos mínimos anuales garantizados (SG) se expresa como:

$$SG = \sum_{t=1}^{25} \left[-Y_1 N_t (-d_1) + IMAG_t e^{-rt} N_t (d_2) \right]$$

**CUADRO 6: INGRESOS ESPERADOS Y GARANTÍAS IMAG
(En Dólares)**

Período	Año	Ingresos Esperados	IMAG
1	2009	17,949,432	17,590,443
2	2010	18,770,066	18,394,664
3	2011	19,628,221	19,235,657
4	2012	20,525,607	20,115,095
5	2013	21,464,024	21,034,744
6	2014	22,445,343	21,996,436
7	2015	23,310,699	22,844,485
8	2016	24,209,417	23,725,228
9	2017	25,142,784	24,639,928
10	2018	26,112,137	25,589,894
11	2019	27,118,861	26,576,483
12	2020	28,164,397	27,601,110
13	2021	29,250,246	28,665,241
14	2022	30,377,956	29,770,397
15	2023	31,549,146	30,918,163
16	2024	32,765,490	32,110,180
17	2025	33,912,281	33,234,035
18	2026	35,099,210	34,397,226
19	2027	36,327,683	35,601,130
20	2028	37,599,151	36,847,168
21	2029	38,915,124	38,136,821
22	2030	40,277,151	39,471,608
23	2031	41,686,851	40,853,114
24	2032	43,145,892	42,282,974
25	2033	44,655,997	43,762,878

⁵⁵ Esto significa que se supone que los shocks aleatorios (el Z en la ecuación) no estén correlacionados en cada periodo de tiempo. En caso contrario las opciones no necesariamente pueden valorarse como un paquete y sería necesario usar una técnica conocida como factorización de Cholesky, situación que llevaría que la valoración debiera hacerse por Montecarlo y no por Black y Scholes.

**CUADRO 7: VALOR IMAG USANDO BLACK-SCHOLES
(En Dólares)**

Periodo	Año	Volatilidad 5%	Volatilidad 10%	Volatilidad 15%
Valor Garantía		143,696.53	4,432,801.74	15,547,427.49
1	2009	9,305.82	155,661.29	407,982.31
2	2010	17,978.87	243,932.01	608,556.54
3	2011	20,373.25	287,421.50	723,182.95
4	2012	19,758.03	308,316.02	793,683.04
5	2013	17,897.06	316,257.45	837,314.26
6	2014	15,634.21	316,257.95	863,082.63
7	2015	11,526.35	294,817.89	847,922.11
8	2016	8,468.88	273,148.88	826,863.32
9	2017	6,210.10	251,984.92	801,979.45
10	2018	4,548.56	231,734.77	774,680.14
11	2019	3,329.46	212,615.13	745,950.01
12	2020	2,436.37	194,726.46	716,490.58
13	2021	1,782.67	178,097.44	686,807.44
14	2022	1,304.43	162,712.22	657,266.82
15	2023	954.62	148,528.47	628,135.43
16	2024	698.76	135,487.82	599,605.59
17	2025	480.17	120,916.55	564,663.06
18	2026	330.31	107,918.50	531,507.94
19	2027	227.43	96,324.95	500,101.02
20	2028	156.73	85,984.50	470,390.64
21	2029	108.09	76,761.72	442,317.22
22	2030	74.60	68,535.39	415,815.54
23	2031	51.52	61,197.43	390,817.83
24	2032	35.61	54,651.35	367,254.76
25	2033	24.62	48,811.12	345,056.84

Los resultados muestran que si la volatilidad de los ingresos por peajes sigue la volatilidad promedio del PBI igual a 5% entonces la garantía y el valor del pasivo contingente toma un valor de 143 mil dólares. Si la volatilidad asciende a 15% el valor del pasivo contingente se incrementa a 15.54 millones de dólares.

4.3 Metodología de Montecarlo

Una segunda metodología para la simulación de los pasivos contingentes del Estado es el Método de Simulación de Montecarlo [MSM]. El MSM es un procedimiento que permite simular miles de veces el comportamiento global de un sistema, cuando éste está determinado por variables aleatorias con distribuciones de probabilidad conocidas.

La clave del método radica en que, dado que toda función de distribución acumulada es creciente y toma valores sólo entre 0 y 1; entonces, basta relacionar cualquier número aleatorio entre 0 y 1 con la variable aleatoria de distribución conocida que se pretende generar, mediante la inversión de la función de distribución acumulada respectiva evaluada en aquel número aleatorio generado entre 0 y 1. Para esto, Montecarlo utiliza la generación aleatoria de números entre 0 y 1 que poseen muchos paquetes de paquetes estadísticos⁵⁶.

⁵⁶ En la actualidad, existen paquetes computacionales que complementan a Excel, tales como Crystal Ball y @Risk, permitiendo entregar informes estadísticos completos del sistema simulado, en base a miles de iteraciones.

En la valoración del pasivo contingente solamente se considera como gatillador de un riesgo de ingreso el asociado a riesgo de demanda y en esa categoría al riesgo de disminución en la actividad económica es decir una disminución en la tasa del crecimiento del PBI. Luego la principal fuente de volatilidad para el pasivo contingente está determinada por la volatilidad del tráfico.

Una manera ampliamente aceptada para predecir el ingreso por peaje de una carretera (asumiendo tráfico relativamente inelástico en peaje en rangos relevantes), es a través de su relación con el Producto Bruto Interno del país [Standard and Poor's (2004), Vasallo (2002), Trujillo, Quinet y Estache (2001), Glaister y Graham (2004), Bain (2002) y Chumacero (1998) entre otros].

La metodología consiste en asumir la elasticidad tráfico – PBI que ha existido en el pasado y con ella predecir los ingresos por tráfico futuro a través de la proyección del crecimiento del PBI. Se asume que la elasticidad ingreso peajes es igual a 1,0 al igual que en la aplicación de Black y Scholes.

Supongamos que la función de distribución de probabilidad (fdp) del crecimiento del PBI es $\phi(\mu, \sigma)$ y que la elasticidad Ingresos por peajes- PBI es η . Entonces la simulación de Montecarlo consiste en la generación de números aleatorios entre 0 y 1, que representan la probabilidad que el PBI supere cierto valor. Es decir:

$$P = \int_{-\infty}^{\lambda_{PBI}} \phi(\mu, \sigma) dx$$

Para cada número generado entre 0 y 1 se obtiene una tasa de crecimiento del PBI (λ_{PBI}) y por lo tanto un crecimiento del tráfico ($\lambda_{tráfico}$), ya que:

$$\lambda_{j tráfico} = \eta \times \lambda_{j PBI}$$

Como se tiene el punto de partida de los ingresos y su tasa de crecimiento, es posible estimar los ingresos de cualquier año:

$$Y_t = Y_{2008} \times \prod_{j=1}^n (1 + \lambda_{2008+j})$$

Por lo tanto, con este procedimiento se puede estimar el perfil de tráfico para todo el horizonte del proyecto. De esta forma si el periodo establecido para el contrato es 30 años, la primera muestra de Montecarlo generará 1000 tasas de crecimiento del tráfico para cada uno de los 30 años y en consecuencia 30.000 recaudaciones por peajes que deberán ser comparadas con el perfil de requerimientos financieros garantizados por el Estado.

La comparación de dicho perfil de ingresos con las garantías establecidas mostrará que las garantías se activarán en algunos períodos y el monto en el que lo harán.

La garantía de ingreso mínimo anual garantizado se establece de manera explícita en el contrato de concesión, dónde se indica que el gobierno paga la diferencia entre los ingresos efectivamente recaudados por el Concesionario y el valor definido por IMAG en el contrato para cada periodo de tiempo t.

En consecuencia, la garantía un valor igual a la diferencia $D = (IMAG_t - Y_t)$ si $Y_t < IMAG_t$ o el valor de cero si $Y_t > IMAG_t$. El valor de la garantía IMAG es igual a:

$$D = (IMAG_t - Y_t) \text{ si } Y_t < IMAG_t$$

$$D = 0 \text{ si } Y_t \geq IMAG_t$$

Como la probabilidad de que $D < 0$, depende solamente de la volatilidad que siguen los ingresos por peaje, entonces la aplicación del método de Montecarlo a esta variable deberá asumir solamente una distribución de probabilidad para los ingresos. Así, es posible expresar que D sigue una distribución de probabilidad iid con media y desviación estándar como sigue:

$$D \rightarrow iid(\mu, \sigma)$$

De esta forma, se calcula para cada periodo el valor de la garantía de acuerdo a la probabilidad y al valor de D . En el caso que D sea menor a 0, es decir, que los ingresos por peaje sean menores a los IMAG, implica la activación de las garantías y el pago por parte del Estado de dicha diferencia D .

El valor esperado de la garantía del contrato se calcula de acuerdo a la siguiente expresión para todos los periodos:

$$E[D] = \frac{1}{1000} \times \sum_{t=1}^{20} \frac{D_{tm}}{(1+r)^t} \quad (1)$$

Donde

$E(D)$: es el valor esperado de la garantía de IMAG en valor presente

D_{tm} : es la diferencia de IMAG y la recaudación en el periodo t de la simulación m

r : es la tasa libre de riesgo determinada por la emisión de bonos globales de la República de Perú.

4.3 Aplicación de Montecarlo

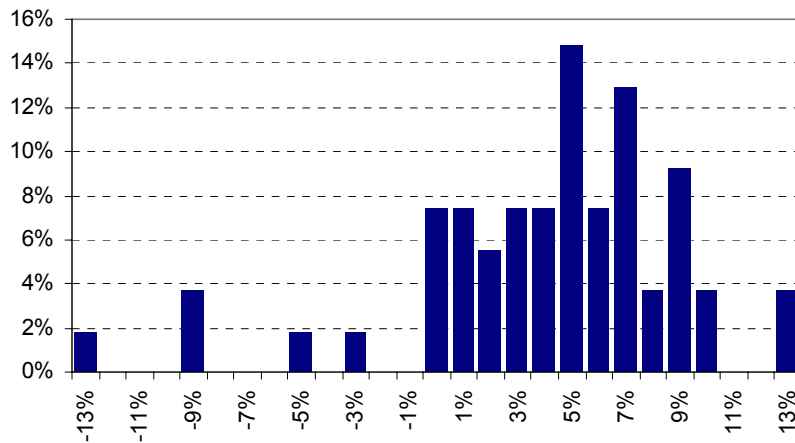
Como se ha señalado, la evaluación estocástica puede ser vista como un análisis de sensibilidad multivariado simultáneo, donde se asume un comportamiento aleatorio para algunos de los supuestos críticos⁵⁷ y se simulan miles de casos con el computador. Una vez finalizada la simulación, se obtiene un resultado de las variables de interés por cada simulación realizada; dichos resultados se agrupan y se presentan en la forma de histograma.

Las variables aleatorias en este caso son las tasas de crecimiento del flujo vehicular para cada año del horizonte del proyecto. Para estimarlas se supuso, al igual que en el método de Black y Scholes, una tasa de crecimiento igual a la del producto interno bruto.

El histograma del comportamiento histórico del crecimiento del PBI, cuyas tasas de crecimiento se han mostrado en el cuadro 4, se presenta en el gráfico siguiente:

⁵⁷ Se define su función de densidad de probabilidad

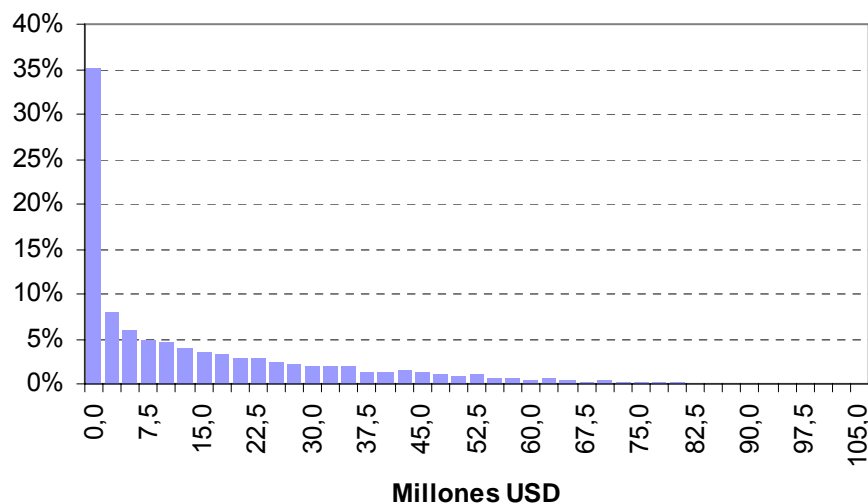
GRÁFICO 1: HISTOGRAMA DE LA TASA DE CRECIMIENTO DEL PIB USANDO INFORMACIÓN SEÑALADA EN TABLA DE VOLATILIDAD.



No existe ninguna función de distribución de probabilidad conocida que se ajuste a este comportamiento, por lo que se modeló directamente con este histograma, para así reproducir dicho comportamiento de la manera más fidedigna posible.

Se generaron 5 muestreos de 1000 simulaciones cada uno, obteniéndose el siguiente resultado:

GRÁFICO 2: HISTOGRAMA DE LA PÉRDIDA ESPERADA PARA EL ESTADO



La pérdida esperada para el Estado, derivada de la activación de los Ingresos Mínimos Garantizados, asciende a US\$15,7 millones, presentando una desviación estándar de 19,1 millones de dólares.

El gráfico 2, resume el comportamiento total de la activación de la garantía y en ella se pueden apreciar claramente dos hechos importantes: i) la moda o valor más probable de la distribución es cero, es decir, la no activación de la garantía y ii) existe una probabilidad decreciente de tener activaciones mayores; no obstante resulta interesante advertir que existe la probabilidad, aunque muy baja (inferior a 2,0%) de tener pérdidas superiores a US\$70 millones; incluso existe un caso en que el valor de activación de las garantías fue cercano a US\$100 millones; sin embargo, dicho

escenario constituye un outlier porque se deriva justo de un escenario donde confluyeron prácticamente todas las tasas de crecimiento a la baja.

V. Conclusiones y Discusión

Las garantías financieras pueden ser modeladas asimilándolas a una opción de venta (Put Option) por parte de la institución que las otorga. Por lo tanto la tecnología sobre teoría de opciones está disponible para su evaluación, particularmente las soluciones que proveen Black y Scholes (1973), Boyle (1977) y Cox et al (1978). En el caso de las garantías de ingresos mínimos otorgadas a proyectos de carreteras, como es el caso del Corredor IIRSA Amazonas Centro, se ha modelado asumiendo que el Estado paga la garantía solamente si los ingresos por concepto de peajes recaudados por la empresa privada son menores a un nivel previamente garantizado, y en caso contrario el pago del Estado es cero.

Lo anterior puede ser expresado como los pagos correspondientes a una opción de venta. Para la aplicación de la solución de Black y Scholes, es necesario que se cumplan ciertos supuestos. El más importante es que se verifique que el activo subyacente, en este caso la serie de ingresos por peajes (tráfico asumiendo peaje exógeno) siga un proceso estocástico del tipo movimiento geométrico browniano. Un proceso de este tipo en versión de tiempo discreto corresponde a una representación de una serie con camino aleatorio con tendencia.

A través de un análisis econométrico de las series de tráfico se han aplicado pruebas de raíces unitarias (unit root). Bajo el test de Dickey-Fuller Aumentado no es posible rechazar la hipótesis nula y por lo tanto la serie exhibe raíz unitaria y en consecuencia es posible predecir que la serie sigue un proceso general de camino aleatorio. Sin embargo bajo el test de Phillips- Perron- Z, no es posible aceptar la hipótesis nula que la serie tiene una raíz unitaria. Es importante señalar que todos los test anteriores tiene el problema de experimentar errores tipo II frente a la presencia de cambio estructural tanto en la constante o en la tendencia. En este sentido se ha trabajado asumiendo raíz unitaria, y se aplicó las formulas de Black y Scholes para diferentes volatilidades posibles para la serie de tráfico.

Adicionalmente se aplicó la metodología de valoración de opciones a través del Montecarlo. Es importante notar que la metodología de simulación no requiere necesariamente asumir algún tipo de proceso estocástico particular sobre el activo subyacente. Los resultados, como era esperable, no difieren en la aplicación de ambas metodologías. Asumiendo una volatilidad esperada del 15% de la serie de tráfico, la valorización por Black y Scholes presenta un valor del pasivo contingente de 15,5 millones de dólares mientras que con la aplicación de Montecarlo presenta un valor igual a 15,7 millones de dólares. Estas cifras representan menos del 6% del valor presente total de las garantías IMAG otorgada.

Una segunda fuente de pasivo contingente, la que no ha sido modelada en el presente trabajo, es el riesgo cambiario debido a que la garantía IMAG es pagada por el gobierno en dólares sin embargo los ingresos por recaudación por peajes están definidos en soles. La forma de modelar este riesgo es tomar en consideración principalmente la volatilidad histórica del tipo de cambio dólar/sol, y aplicar las metodologías de Black y Scholes y de Montecarlo con las adaptaciones numéricas necesarias. El modelo más utilizado en banca de inversión y analistas financieros para la valoración de derivados de tipo de cambio es el propuesto por Garman y Kolhagen (1983) que parte de la adaptación de Merton (1974) al modelo de Black y Scholes (1973).

Finalmente a juicio del autor, este artículo presenta una referencia conceptual y aplicada para establecer un sistema de modelación/valoración y posteriormente contabilización de los diferentes pasivos contingentes que exhibe la economía peruana, y que es extensible más allá de los esquemas de asociación pública privadas, y también extendible a otros países de la región. Por una parte los pasivos derivados de compromisos en dólares y recaudaciones en moneda extranjera, como el caso señalado anteriormente, los pasivos generados por las pensiones mínimas que se establecen en la regulación de los fondos de pensiones privados (AFPs) y los pasivos generados por el fondo de garantía de los depósitos bancarios, entre otros pasivos contingentes. La variable clave en todos los casos es la identificación del proceso estocástico de la variable subyacente, la fuente principal de riesgo y la estimación acotada de la volatilidad.

Referencias Bibliográficas

1. Abdul-Azis, A. R. (2001). Unraveling of BOT scheme: Malaysia's Indah Water Konsortium. *Journal Construction Engineering Management* 127 6, pp. 457–460.
2. Bain, R (2002). Credit Implications of Traffic Risk in Start-Up Toll Facilities. *Infrastructure Finance S&P*
3. Black, F. & M. Scholes (1973). The pricing of options and corporate liabilities. *Journal of Political Economy*, 81 , 1973
4. Brandão, L. & E. Saraiva (2007). Valuing Government Guarantees in Toll Road Projects. *Mimeo Pontifical Catholic University of Rio, Brasil from <http://realoptions.org>*.
5. Budina, N., Polackova, H. & I. Timothy (2007). Public-Private Partnerships in the New Eu Member States: Managing Fiscal Risks. *World Bank Working Paper*.
6. Calomiris, Ch. W. (1990). Is Deposit Insurance Necessary? A Historical Perspective. *Journal of Economic History* 50, pp.283-295.
7. Cox, J, S. Ross & M. Rubinstein (1979). Option Pricing: A simplified approach. *Journal of Financial Economics*, Vol. 7, September, pp. 229-263.
8. Chumacero, R. (1988). Modelos Económicos para Proyectos Concesionables. *Reporte para el Ministerio de Obras Públicas Chile*.
9. Currie, E. (2002). The Potential Role of Government Debt Management Office in Monitoring and Managing Contingent Liabilities. *XIV Seminario Regional de Política Fiscal: Compendio de Documentos, Santiago: Comisión Económica para América Latina y el Caribe*.
10. Dias, A., & Ioannou, P. G. (1995). Optimal capital structure for privately financed infrastructure projects—Valuation of debt, equity and guarantees. *UMCEE Rep. No. 95-10, Dept. of Civil and Environmental Engineering, Univ. of Michigan, Ann Arbor, Mich*.
11. Dailami, M. & M. Klein (1997). Government support to private infrastructure projects in emerging markets. *Working Paper No. 1868, World Bank, Washington, D.C*.
12. Dailami, M., & D. Leipziger (1997). Infrastructure project finance and capital flows: A new perspective". *Working Paper No. 1861, World Bank, Washington, D.C*.
13. Di Giacinto, M. & F. Gozzi (2007). Pension Funds with a Minimum Guarantee: A Stochastic Control Approach. *Working Paper Series University of Cassino 2007*.
14. Duffie, D. & K. Singleton (1997). An Econometric Model of the Term Structure of Interest Rate Swap Yields. *Journal of Finance* 52, No. 4, pp. 1287 - 1322.
15. Duffie, D. & K. Singleton (1999). Modeling Term Structures of Default Risky Bonds. *Review of Financial Studies*, No. 12, pp. 687-720.
16. Esteban, M. (2006). La colaboración pública-privada en la provisión de infraestructuras: una valoración de la experiencia internacional. *Economías, No63, 3er cuatrimestre 2006*
17. Fitzpatrick, S. (2006). Asociaciones público-privadas: Principales Aspectos económicos y directrices básicas. Universidad de Hamburgo 2006
18. Glaister S. & Graham D.J. (2004). Pricing our roads: vision and reality. *Institute of Economic Affairs: London*.
19. Gomez-Lobo, A. & S. Hinojosa (2000). Broad Roads in a Thin Country: Infrastructure Concessions in Chile. *World Bank Policy Research Working Paper No. 2279*

20. Fitch Rating (2000) Rating Projects Structured with a World Bank Partial Credit Guarantee. *from* <http://Fitchratings.com>
21. Fitch Rating (2007) Structured Finance in Latin America's Local Markets: 2006 Year in Review and 2007 Outlook. *from* <http://Fitchratings.com>
22. Garcia, G. (1999). Deposit Insurance: A Survey of Actual and Best Practices. *IMF Working Paper. International Monetary Fund.*
23. Garman, M. & S. Kohlhagen (1983). Foreign Currency Option Values. *Journal of International Money and Finance* 2 pp - 231-237
24. Hamilton J. (1994). Time Series Analysis, *Princeton University Press*
25. Hanc, G. (2000). Deposit Insurance Reform: State of the Debate. *FDIC Banking Review* 2000
26. Harris, R. (1995). Cointegration Analysis in Econometric Modeling, *Prentice Hall.*
27. Hart, O. (2003). Incomplete Contracts and Public Ownership: Remarks and an Application to the Public Private Partnerships. *The Economic Journal. No 113*
28. Hemming, R. (2006). Public-Private Partnerships, Government Guarantees and Fiscal Risk. *Washington, DC: IMF.*
29. Hiu, C. & C. Lo (2000). A Note on Risky Bond Valuation. *International Journal of Theoretical and Applied Finance*, v3, n3, pp. 575 - 580.
30. IMF (2001). Code of Good Practices on Fiscal Transparency. *IMF Washington DC.*
31. Lewis, C. & A. Mody (1997). The Management of Contingent Liabilities: A Risk Management Framework for National Governments, in *Dealing with Public Risk in Private Infrastructure. Eds. Irwin, Timothy et al. The World Bank. Washington DC.*
32. Irwin, T. (2002). Government Support for Private Infrastructure Projects. *LECG, March 2002.*
33. Jarrow, R. & S. Turnbull (1995). Pricing Derivatives on Financial Securities subject to Credit Risk. *Journal of Finance* 50, pp. 53 - 85.
34. Lewis, C. M. & Mody, A. (1998). Risk management system for contingent infrastructure liabilities: Applications to improve contract design and monitoring. *Note No. 149, World Bank, Washington, D.C.*
35. Klein, M. (1997). Managing Guarantee Programs in Support of Infrastructure Projects. *Policy Research Working Paper, Private Sector Development Department, The World Bank, August 1997.*
36. Klein, M., & N. Roger (1994). *Back to future: The potential in infrastructure privatization. Fin. and Priv. Sec. Develop. Note No. 30, World Bank, Washington, D.C.*
37. Longstaff, F. & E. Schwartz (1995). A Simple Approach to Valuing Risky Fixed and Floating Rate Debt. *Journal of Finance* 50, pp. 789-819.
38. Maddala, G. & I.M. Kim (1988) Unit Roots, Cointegration and Structural Change. Cambridge University Press.
39. Madan, D. & H. Unal (1998). Pricing the Risk of Default. *Review of Derivatives Research* 2, pp. 121 - 160.
40. Merton, R. (1973). The theory of rational option pricing. *Bell Journal of Economics and Management Science, Spring, pp. 141-183.*
41. Merton, R. (1974). On the Pricing of Corporate Debt: The Risk Structure of Interest Rates. *Journal of Finance* 29, pp. 449-470.
42. Merton, R. (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* 1, 1977
43. Mills, T. (1999). The Econometric Modeling of Financial Time Series. *Second Edition. Cambridge*
44. Ministerio de Hacienda (2007). Informe de Pasivos Contingentes. *Dirección de Presupuesto Gobierno de Chile.*
45. Ministerio de Economía y Finanzas (2007). Informe de Pasivos Contingentes. *MEF, Perú.*
46. Moody's (2001). Default and Recovery Rates of Corporate Bond Issuers: 2000. *Special Comment, Moody's Investors Service.*
47. Mody, A. & D. Patro (1995). Methods of Loan Guarantee Valuation and Accounting. *CFS Discussion Paper Series 116. The World Bank. Washington DC.*
48. Landsberger, M. & I. Meilijson (1996). Extraction of Surplus under Adverse Selection: The Case of Insurance Markets. *Journal of Economic Theory*, 69, pp. 234-239.
49. Polackova, H. (1998). Government Contingent Liabilities: a Hidden Risk to Fiscal Stability. *The World Bank. Washington DC*
50. Phillips, P. C. B. (1987). Time series regression with a unit root. *Econometrica*, 55.

51. Rose, S. (1998). Valuation of a Interacting Real Options in a Toll Road Infrastructure Project. *The Quarterly Review of Economics and Finance*, Vol. 38 1998
52. Rothschild, M. & J. Stiglitz (1976). Equilibrium in Competitive Insurance Markets: An Essay on the Economics of Imperfect Information” *Quarterly Journal of Economics*, 90, 629—649
53. Schobel, R. (1999).A Note on the Valuation of Risky Corporate Bonds. *OR Spektrum* v21, n1-2, pp. 35 - 47.
54. SDG (2005) Estudio de Demanda para el Corredor Amazonas Centro.
55. Shimko, D. (1992). Finance in Continuous Time. A primer. *Kolb* 1992.
56. Standard and Poor’s (2004).Traffic Forecasting Risk. *S&P 2004*
57. Stewart, F. (2007).Benefit Security Pension Fund Guarantee Schemes. *OECD Working Papers on Insurance and Private Pensions*, No. 5,
58. Tiong, R. L. K. (1995). Risks and guarantees in BOT tender. *Journal of Construction Engineering and Management*, 1212, pp. 183–188.
59. Trujillo, L., Quinet, E, & A. Estache (2001). Forecasting the Demand for Privatized Transport: what economic regulators should know and why. *The World Bank*
60. Vasallo, J.M. (2002). Mecanismos para reducir el riesgo de la financiación en infraestructuras. *Revista de Obras Públicas/Extraordinario Octubre 2002/No 3425*
61. Velásquez, F. & V. del Carpio (2006). Valorización de Garantías en Concesiones con Ingresos Estocásticos. *Mimeo Preinversión*.
62. Von Neumann, J. & O. Morgenstern (1944) Theory of Games and Economic Behavior. *Princeton: Princeton University Press*.
63. Wibowo, A. (2004). Valuing Guarantees in a BOT Infrastructure Project. *Engineering, Construction and Architectural Management*, Vol. 11, No6 pp 395-403
64. Wibowo, A. (2006). CAPM-Based Valuation of Financial Government Supports to Infeasible and Risky Private Infrastructure Projects. *Journal of Construction Engineering and Management*, Vol. 132, No. 3, March 1, 2006.

TRABAJO N° 3

ANÁLISIS ECONÓMICO Y EVALUACIÓN DE PROYECTOS DE ASOCIACIÓN PÚBLICA-PRIVADA: INTRODUCIENDO OPCIONES REALES Y DECISIONES MULTICRITERIOS EN APLICACIONES PARA CHILE, PERÚ Y MÉXICO

1. Introducción

En las últimas dos décadas ha emergido una forma de proveer servicios públicos con participación activa del sector privado en el diseño, el financiamiento, la construcción y la operación de infraestructuras. Estos proyectos se insertan en el contexto de los *Public Private Partnerships* [(Yescombe (2007), Hemming (2006)].

El término *Public Private Partnerships* se originó en los Estados Unidos, en marco del financiamiento de programas conjuntos en educación entre el sector público y el sector privado. Posteriormente en los años 1950s se extendió para el desarrollo de servicios públicos (“utilities”), pero se popularizó y se extendió ampliamente su uso en la década de los sesentas para referirse al desarrollo de programas público privados en renovación urbana [Yescombe (2007)]. También el término es usado en los Estados Unidos para referirse a programas de servicios sociales por el sector no público, a menudo por el sector voluntario (non profit organizations), así como también al financiamiento público de programas de investigación y desarrollo por parte del sector privado en el campo de la tecnología [Link (2006)]. En el ámbito del desarrollo internacional, el término es usado para referirse a iniciativas conjuntas entre el sector público, las agencias de cooperación y de ayuda internacional y el sector privado para combatir enfermedades tales como el SIDA y la malaria, la introducción de nuevos métodos en el sector agrícola o promover el desarrollo económico general.

Por otro lado, los Public-Private Partnerships (PPP) es un concepto relacionado con proyectos y encuentra en la literatura existente una gama amplia de definiciones. Autores como Fitzpatrick (2006), Esteban (2006), Gerrard (2001), Hart (2003), Bennett y Iossa (2006) e Instituciones como IMF (2004), HM Treasury (2001) y Standard and Poor’s (2004) definen de manera distinta lo que es un PPP, y por lo tanto no existe un consenso acerca de su definición, aunque en todos los casos el denominador común es el desarrollo de proyectos o programas específicos.

Sin embargo es posible agrupar una definición de PPP como una tipología de relación público-privada materializada en un contrato entre un organización pública y una compañía privada (sociedad de propósito específico) para la provisión y compra de proyectos de infraestructura y de sus servicios relacionados en el largo plazo (promedio 20 años), financiado principalmente a través de pagos diferidos en el tiempo por parte del Estado y de los usuarios. Dicha asociación se traduce en retención y transferencias de riesgos, en derechos y obligaciones para las partes, en mecanismos de pago relacionados con incentivos y deducciones, en establecimiento de una regulación integral de los estándares de calidad de los servicios contratados e indicadores claves de cumplimiento.

A nivel de experiencia internacional el modelo más avanzado en materia de PPP es el que se encuentra desarrollo en el Reino Unido, y se denomina *Private Finance Initiative* (PFI). En Europa desde 1990 hasta el 2006, se han invertido casi 200 mil millones de euros en sectores como educación, salud, defensa, justicia y transporte a través de las diferentes modalidades de PPPs, dónde la participación del Reino Unido en el valor del total de proyectos es del 57.7% [Blanc-Brude et al (2007)]. En España una reciente ley de contratos del sector público (Ley 30/2007 del 30 de octubre 2007), está permitiendo el desarrollo de los proyectos de colaboración público-privado (PPP/PFI), particularmente en áreas sociales.

En América Latina se utiliza ampliamente el término concesión, sea que involucre o no aportes estatales. Es decir, no existe una homogeneización en cuanto al término PPP o concesión. Primeros intentos de separar el término se están realizando en Brasil y México (Proyectos de Prestación de Servicios), y se está comenzando a regular el concepto PPP en Perú, a través de lo que se denomina Concesiones Cofinanciadas (CCF).

El análisis sobre la conveniencia de implementar esquemas PPPs se ha desarrollado en dos etapas.

I. En la primera etapa se realiza el tradicional análisis costo-beneficio, en la cual se determinan desde la óptica de la sociedad, los costos y beneficios y se calcula el valor actual neto utilizando para ello una tasa de descuento social [De Rus (2004), Pearce et al (2007)]. El análisis costo-beneficio es recomendado como la técnica a utilizar en el análisis formal de evaluación de proyectos y programas públicos. Es así, cómo el criterio estándar, para decidir si un programa o inversión pública se justifica en términos de principios económicos es el Valor Actual Neto Social (VANS), es decir la diferencia entre los beneficios y costos económicos generados por un proyecto de inversión pública. Un segundo criterio, usado principalmente para proyectos y programas sociales (p.e. inversiones en educación y salud) es la técnica de costo-eficiencia⁵⁸ 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 [Boardman et al (2001), Castro y Mokate (2003), HM Treasury (2003)].

II. Una vez que el proyecto se encuentra evaluado económicamente y su resultado es positivo, en una segunda etapa se evalúa la modalidad de ejecución. En efecto, un enfoque que ha comenzado a emerger de manera creciente es la evaluación de la modalidad de contratación, es decir analizar la conveniencia acerca de la forma de ejecutar el proyecto [Demirag et al (2004), Regan (2005)]. A esta metodología se le denomina Comparador del Sector Público (PSC⁵⁹), y presenta una forma objetiva de comparar una modalidad de ejecución pública, denominada *Proyecto Público de Referencia (PPR)*, con una modalidad de ejecución privada denominada *Proyecto de Asociación Pública Privada* [HM Treasury (1999), Partnerships Victoria (2003)]. Para lo anterior es necesario calcular el costo total para el proyecto de referencia que incluya no solamente el costo de las inversiones, mantenimiento y operación, sino los riesgos totales de sobre-plazos, sobre-costos y otros que se producen cuando el proyecto es ejecutado por el sector público [Flyvbjerg et al (2002)]. Dicho costo ajustado se compara con el costo total de una alternativa de asociación pública-privada. Si el costo total ajustado del proyecto de referencia es mayor al costo total de la alternativa PPP entonces la modalidad de ejecución más eficiente y efectiva para la implementación del proyecto es la provisión privada. En caso contrario, la modalidad de ejecución recomendable es la provisión pública.

Problemática y Complementaciones de las Metodologías

1. Con la Evaluación la Evaluación Económica

El análisis costo-beneficio ignora una característica muy importante de los PPPs, es la necesaria flexibilidad estratégica y operacional requerida para el diseño de los contratos en largo plazo, y por lo tanto en su evaluación. La tipología de proyectos PPP, en general por su gran tamaño en las inversiones iniciales, por el ambiente de incertidumbre en demanda y en costos que se realizan, y por las decisiones estratégicas que subyacen especialmente en el traspaso de ciertos servicios que

⁵⁸ "Cost-effectiveness analysis"

⁵⁹ Public Sector Comparador, PSC en sus siglas en inglés.

tradicionalmente han sido operados por el sector público al sector privado requieren que se diseñen de una manera flexible. De la misma forma como el sector empresarial privado, toma decisiones de inversión en ambientes de incertidumbre, el sector público al asociarse con el sector privado en el largo plazo requiere disponer de flexibilidad en su planificación. Dicha flexibilidad queda identificada, valorada y definida de manera anterior a la ejecución misma del contrato. Dicha flexibilidad se traduce en opciones reales escritas en contratos PPP. Una excelente y exhaustiva revisión bibliográfica sobre las definiciones y aplicaciones del concepto de flexibilidad empresarial desde el punto de vista privado, se encuentra en Guivernau (2005). Al respecto Guivernau (2005) señala que la literatura ha respondido preguntas tales como ¿En que condiciones necesitará una empresa determinada flexibilidad? ¿Que tipos de flexibilidad existen? ¿Como se implementan? ¿Que relación existe entre flexibilidad y entorno?

Una manera de estructurar esquemas PPPs de manera flexible es incorporar opciones reales en su diseño y en consecuencia en su evaluación. Una opción real es el derecho, pero no la obligación que tiene un agente económico para tomar una acción determinada respecto a un proyecto de inversión a un determinado costo y por un determinado periodo de tiempo. Las acciones que puede tomar el agente económico pueden ser la de diferir, ampliar, postergar, abandonar, expandir y contratar, entre otras [Schwartz y Trigeorgis (2001), Mascareñas et al (2005)]. Por ejemplo, para aplicaciones a inversiones de desarrollo inmobiliario con mecanismos de asociación pública-privada, Leun y Hui (2005) han propuesto desarrollar métodos híbridos que integren análisis costo-beneficio y opciones reales. Asimismo, recientemente, Schubert y Barenbaum (2007) han mostrado a través de ejemplos específicos la aplicación de opciones reales a decisiones de presupuesto de capital público. En efecto, los autores analizan un contrato de *outsourcing* (tercerización) para periodos de 6 años, uno con la opción real de salida y otro sin la opción.

El ejemplo que a continuación se menciona tiene por objetivo introducir el valor de las opciones reales en el diseño de contratos. Este ejemplo está inspirado en Antikarov y Copeland (2001) *“Imagine que usted se encuentra en el centro de una ciudad A y está tomando la decisión de elegir la ruta que lo conduzca al aeropuerto para dirigirse a la ciudad B. El objetivo de su viaje a B es la entrega de una oferta de servicios profesionales a las 12 horas del día siguiente. Debido a la hora de congestión vehicular la ruta planeada que minimiza los costos de su viaje (medido principalmente en tiempo) le indica que la mejor alternativa es salir por la avenida X y empalmar con la Avenida Y hacia el aeropuerto. Su tiempo esperado son 50 minutos de viaje. Su viaje es iniciado y entrando a la avenida X se encuentra con un accidente que lo obliga a tomar otra ruta. Es decir se devuelve por la salida hacia una nueva avenida W para llegar al aeropuerto. No obstante en la Avenida W se encuentra con congestión producto de mejoramientos en la vía. Después de estar 10 minutos detenido decide tomar la avenida Z y llegar al Aeropuerto. Finalmente llega al aeropuerto en un viaje que ha tomado casi el doble de tiempo pero la flexibilidad para adecuarse a las contingencias lo hace tomar su avión y entregar la oferta a tiempo. Que importante ha sido la flexibilidad que usted ha tenido para poder cambiar de ruta planeada. Si dicha flexibilidad no la hubiera tenido, ya sea porque no conociera bien la ciudad A o porque no llevara un mapa para dirigirlo a su destino, probablemente usted hubiera perdido su inversión en tiempo y más importante aún la imposibilidad de entregar su oferta a tiempo en la ciudad B. Probablemente la mejor inversión en ese momento era un mapa.....”*.

El ejemplo anterior sirve para ayudar a caracterizar algo que es más de fondo: las decisiones de inversión, el diseño de los contratos y el uso de la flexibilidad son fuentes de valor para los participantes del mercado. En efecto, generalmente las decisiones de inversión en proyectos por parte de los agentes económicos se hacen tomando en cuenta los flujos futuros netos descontados a una tasa de descuento que refleje el costo alternativo de sus recursos. Este antiguo método de

valoración de inversiones se llama valor actual neto (VAN) o flujo de caja descontado. No obstante este método ampliamente aceptado como mecanismo de valoración de inversiones no toma en cuenta la flexibilidad y por lo tanto no evalúa adecuadamente la decisión de inversión. El ejemplo del viaje es como la definición de un proyecto en el cual sus flujos de caja se pueden asimilar a la ruta planeada. Si no se tiene la capacidad o la habilidad en términos de flexibilidad para cambiar sus decisiones de inversión en el tiempo entonces se puede estar sub valorando el resultado del proyecto tomando una decisión de inversión equivocada, a la luz de las potenciales existentes. Los flujos de caja para calcular el VAN, son flujos esperados, descontados a una tasa de descuento constante o a un perfil de tasas proyectado en el tiempo, porque se supone que el riesgo será constante durante toda la vida del proyecto. Utilizar los flujos esperados, es asumir por ejemplo que se conducirá siempre por la ruta planeada esperada, sin desvíos, ni congestión, ni mal clima, no existiendo habilidad para responder a la incertidumbre.

En este mismo esquema resulta central la valorización de la flexibilidad que el sector público puede tener en el desarrollo de sus proyectos y programas de inversión pública a través de licitaciones con el sector privado 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 proyectos en cierto momento si las condiciones del macro y micro entorno así lo ameritan, para sustituir una determinada tecnología por otra, introducir elementos para compartir riesgos, optimizar el desarrollo de la relación contractual para el proyecto, entre otros.

Nuevamente los flujos de caja para calcular el retorno social, son flujos esperados, descontados a una tasa de descuento constante, porque se está suponiendo que el riesgo del proyecto será constante durante toda la vida del proyecto. La habilidad que tiene el sector público para responder a la incertidumbre con flexibilidad debe valorarse en la evaluación de decisiones, inversiones y programas públicos, especialmente aquellos que representan decisiones estratégicas e implican un importante uso de recursos económicos. Esto se ha denominado en finanzas modernas “Teoría de Opciones Reales” aplicadas a la valoración de inversiones en el cual el elemento central es valorar la flexibilidad que subyace en las opciones que se desprenden de ella [Myers (1977), Kester (1984)].

De manera análoga que en el ejemplo del *mapa* expuesto anteriormente, el mecanismo de transmisión de la flexibilidad entre el sector público y el sector privado son los contratos, las bases de licitación, los reglamentos, los marcos regulatorios, los programas de desarrollo y las leyes. En cada cuerpo legal está (o no está) presente la flexibilidad para que cada agente se pueda mover y adecuarse a la ruta planeada. Una vez que el contrato ha incorporado el mapeo parcial de riesgos, entonces la incertidumbre se reduce, al quedar éstos identificados y tratados en la forma de opciones reales.

El término opciones reales fue propuesto por primera vez por Myers (1977) para definir la brecha que existe entre la planificación estratégica y finanzas: *“La planificación estratégica necesita de las finanzas. Cálculos del valor actual resultan necesarios para verificar los análisis estratégicos y viceversa. Sin embargo, las técnicas estándares de flujos de fondos descontados, tienden a subvalorar las opciones de valores que tienen algunas líneas de negocios prósperas y en crecimiento. La teoría de finanzas corporativas requiere una extensión para trabajar con opciones reales”*

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 un estancamiento de la misma y por lo tanto proporciona el derecho pero no la obligación a discontinuar la construcción. En extremo puede resultar óptimo abandonar la obra (*Option to Abandon*).
- *Opción de expandir o contraer la capacidad*. Un proyecto puede, durante su ejecución, mostrar potencial para ser expandido (*Option to Expand*) mas 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, a algún nivel de costo y demanda, operar descontinuadamente 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 éstas, 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 que el valor de una opción está dado por la adquisición de otra opción.

Una característica importante, referente al valor de las opciones, es que éstas incrementan su valor en escenarios de mayor riesgos, 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.

Una particularidad muy conveniente 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. Dicho método también debiera ser extendido a la evaluación social de los proyectos de inversión pública (particularmente los relacionados con infraestructura), y en los cuales el gobierno en la etapa de implementación de dichos proyectos pueda escribir en contratos de largo plazo las opciones reales.

Los mecanismos de valoración de opciones pueden ser clasificados en tres categorías: i) Valoración a través de la solución de una Ecuación Diferencial Parcial. Este método ha sido desarrollado por Black y Scholes (1973). ii) Valoración por Programación Dinámica. El mas común dentro de esta clase es el método árboles binomiales desarrollado por Cox, Ross y Rubinstein (1979) y iii) Valoración por Simulaciones. El método más usual en esta clase de mecanismos es Montecarlo, que en su aplicación a valoración de opciones ha sido propuesto por Boyle (1997).

La metodología de opciones reales, en ocasiones puede resultar más útil para idear los proyectos de inversión que para valorarlos [Mascareñas et al (2004)]. Según los autores una de las razones para que en algunas ocasiones, la metodología de opciones reales sea preferida para contextualizar e idear inversiones en ambientes de incertidumbre en vez que necesariamente se oriente a la valoración de estas inversiones, es que en algunos sectores es difícil valorar dado que las inversiones no tienen necesariamente activos subyacentes que se puedan identificar con precisión. En este sentido, por ejemplo en un contrato de largo plazo para 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 periodos distintos si se verifican ciertas condiciones inciertas asociadas a variables claves del contrato. Por ejemplo riesgos geológicos que se verifican posterior a la firma del contrato pueden gatillar que el sector privado invoque una

opción de salida o de término anticipado del contrato, o un aumento inesperado de la demanda puede provocar que se ejerza una opción de ampliación de la infraestructura por parte del gobierno.

Opciones “embedded” en este tipo de contratos de largo plazo pueden ser escritas de manera rigurosa por parte de la autoridad pública y la valoración puede estar implícita en el resultado del proceso de licitación del contrato manifestada por la oferta económica presentada por los licitantes.

En esta misma línea Fredberg (2007), recientemente ha argumentado que en proyectos altamente riesgosos en investigación y desarrollo la forma de valorar la opción es poco intuitiva pero que sin embargo la aproximación conceptual de la flexibilidad en este tipo de proyectos resulta altamente deseable para el proceso de toma de decisiones. Bailey et al (2004) señalan que tener una mentalidad entrenada en identificar opciones reales y detectar lo valioso que puede resultar la flexibilidad para la empresas es más importante que la preocupación matemática de su valoración. Asimismo argumentan que las opciones reales no son opciones financieras y por lo tanto las formulaciones analíticas no siempre pueden ser utilizadas, así como también muchas veces resulta difícil estimar volatilidades de manera rigurosa. Marcel (2003) invoca la prudencia en su uso, debido a la dificultad de obtener los parámetros para su evaluación o que los mismos no tienen la debida calidad. También entrega algunas recomendaciones a tener en cuenta para detectar si una determinada situación merece ser considerada como una opción real. En general varios autores argumentan que la valoración de opciones reales y de la flexibilidad es compleja pero sin embargo se pueden detectar enfoques estratégicos y operacionales valiosos a nivel cualitativo, que permiten mejorar los criterios para planificar, diseñar y dimensionar la ejecución de los proyectos [Block (2007), Antikarov y Copeland (2001), Mun (2006), Mascareñas et al (2004)].

Los Contratos PPPs y la Flexibilidad

La atención académica en el campo de los PPPs en los últimos años se ha interesado principalmente en conocer y fundamentar la tipología y la forma contractual en que los servicios públicos se traspasan al sector privado y el impacto que dicho traspaso genera en el desempeño de los servicios públicos, en los contratos y en la relación pública privada que emerge. Es evidente que si todos los servicios fueran traspasados al sector privado, incluidos los servicios esenciales se estaría en presencia de una privatización y de una concepción a través del mercado de la organización y gestión de un “servicio público”. Según Rothenberg (1987), la intervención pública tiene tres elementos, en los cuales cada uno de ellos es candidato a ser privatizados: (i) financiamiento, (ii) producción y (iii) regulación. Señala que la principal forma de privatización es la devolución de la función pública manteniendo el financiamiento público, pero cambiando la producción desde el sector público hacia el sector privado. La forma de organización de un PPP está precisamente en traspasar al sector privado la gestión y los riesgos que subyacen solamente en algunos servicios que realiza el sector público además de la construcción, mejoramiento o ampliación de la infraestructura, el equipamiento y su mantenimiento.

La forma de aproximarse para analizar conceptualmente los PPPs desde sus fundamentos económicos se relaciona con la teoría de la organización bajo el enfoque de los costos de transacción propuesta por Williamson (1985), por el teorema de la privatización de Sappington y Stiglitz (1987), por la teoría de la agencia bajo los enfoques seminales de Ross (1972) y Jensen y Meckling (1976), y la aproximación de Porter (1985) de las ventajas de organización y cadena de valor.

Varios artículos en el contexto de los PPPs se han centrado en estudiar el diseño de los contratos y las causas de las renegociaciones, enfatizando aspectos como i) la titularidad de la propiedad [Hart (2003), Shleifer (1998), Sadka (2006)] ii) la frontera de participación privada [Bennett y Iossa

(2006) iii) el grado de separación de las actividades [Martimort y Pouyet (2006), Valila (2005)] iv) La completitud de los contratos [Grout (2002), Hart (2003), Guash (2005), Bentz et al. (2002)] y v) aspectos fiscales y económicos (Hemming (2006), De Bettignies y Ross (2004), Engel et al (2007), Sadka (2006)]. Todo lo anterior en el hecho que los contratos se renegocian y que los costos, las demandas, las inversiones y las condiciones en las que los proyectos fueron evaluados inicialmente cambian al momento de gatillar la renegociación.

Al respecto, Sappington y Stiglitz (1987) desarrollan el teorema fundamental de la privatización el cual se basa principalmente en los principios de la teoría del agente principal [Ross (1973) y Jensen y Meckling (1976)]. El teorema establece que una institución pública encarga completamente la producción a una organización privada y la adjudicación se realiza a través de un proceso altamente competitivo en la cual el precio del producto es exactamente igual a la valoración del producto por parte del sector público, entonces un sistema de compensación de ese tipo asegura un nivel de producción eficiente, y la organización pública puede delegar la producción independiente, si la tecnología privada para producir el bien o servicio es conocida por esta. En otras palabras el teorema indica que el sector público puede diseñar un sistema apropiado de compra competitiva de forma que la producción pública, es decir integración vertical, no sea superior a la producción privada, como por ejemplo contratación externa a través de esquemas PPP.

Sin embargo, lo anterior puede no ser verificado por las siguientes razones: i) puede resultar difícil para la institución pública extraer completamente las rentas a la compañía privada ii) la flexibilidad del sector público en el diseño del contrato se ve limitada por la presencia de costos de contratación, reputacionales e institucionales y iii) problemas con la implementación de los contratos son altamente probable que aparezcan [Sappington y Stiglitz (1987)].

Otro aspecto importante dice relación con los costos de contratación y de diseño de los contratos. Al respecto en la teoría económica se concluye que bajo condiciones y supuestos de información completa, ningún agente actuando individualmente puede obtener ganancias producto de limitar sus alternativas de elección. Como la teoría supone que todas éstas pueden ser escritas en un contrato completo o pleno (full commitment) o acuerdo ex-ante entre las partes, resulta en un contrato óptimo que nunca es renegociado, es decir que cubre la duración total de la relación, el contrato no es roto, no es modificado y se establece un equilibrio legal - económico y financiero en el tiempo.

Si bien es cierto que la firma de contratos de largo plazo soluciona el problema de la especificidad y de la dependencia discrecional (hold-up), éstos adolecen de cierta rigidez e inflexibilidad una vez que se encuentran refrendados. De esta manera existirá la posibilidad de que las partes puedan aprovechar oportunísticamente cambios en su comportamiento generando el típico problema del riesgo moral.

De esta manera, el riesgo de “*moral hazard*” se incrementará a medida que aumenta la incertidumbre que rodean a las variables que determinan un contrato. Esto determinará que si un contrato está sujeto a un alto grado de incertidumbre entonces el óptimo se alcanzará con contratos de corto plazo que se vayan redefiniendo a intervalos cortos en el tiempo, es decir *outsourcing* clásico y no PPPs que por definición son de largo plazo [Hart (2003)]. Es decir, los riesgos de renegociación se incrementan a medida que se incrementa la duración del contrato y la incertidumbre ex- ante [Williamson (1985)].

El principal origen de la incompletitud es la especificidad de activos, que genera el problema del “hold up”. En general un contrato prevé que las partes tienen que hacer inversión específica, y una vez firmado el contrato y hecha la inversión específica, alguno de ellos puede obtener poder monopólico sobre el otro (“hold up”) [Hart (1998)]. Este poder surge a pesar de que ex ante haya

una licitación competitiva. Una cuestión importante respecto al punto anterior dice relación con la separación o integración de los negocios en un PPP. Al menos se identifican 3 tipos de negocios: (i) el negocio de construcción de la infraestructura, (ii) el negocio de mantenimiento y (iii) el negocio de operación de los servicios públicos. La posibilidad de contratar en una primera licitación al constructor y en una segunda licitación al operador de los servicios ha sido estudiada de tal forma de generar las condiciones para reducir el problema del “hold up”. En efecto, Hart (2003), utilizando sólo contratos incompletos (pero sin problemas de riesgo moral o selección adversa) a través de un modelo donde un servicio puede ser entregado bajo el esquema tradicional⁶⁰ o bajo un PPP, señala que si el inversionista proveedor tiene información privada sobre la inversión que realiza en el proyecto, entonces quien construye el proyecto puede invertir en actividades que reducen costos y que a la vez benefician la calidad del proyecto en la etapa de operación y mantenimiento. De esta forma manera sería preferible organizar un negocio PPP que fuera conjunto, es decir una sola compañía realizará todas las actividades contratadas.

Recientemente, ha emergido literatura con aplicaciones empíricas y conclusiones a partir de hechos estilizados al estudio de la renegociación de los contratos PPPs particularmente en América Latina (AL). Estache et al (2003) han estudiado los determinantes principales de las renegociaciones en AL según una muestra de 942 contratos en 17 países. Guasch, Laffont y Straub (2005) construyen un modelo en el cual la renegociación ocurre producto de una inadecuada fiscalización de los contratos. El modelo determina la probabilidad de renegociación de un contrato, la cual se produce debido a los aspectos regulatorios institucionales, shocks económicos y características de la asociación. Los autores utilizan una muestra de 1.000 contratos PPP adjudicados en AL desde 1989 hasta el año 2000 cubriendo los sectores de telecomunicaciones, energía, transporte y sanitarias dónde aplican el modelo. Por su parte, Guasch (2004) señala que más del 44% de los contratos PPP adjudicados en los últimos 15 años en AL han sido renegociados. Los sectores más expuestos al proceso han sido transporte y sanitarias con un 55% y 75%, respectivamente. El tiempo promedio desde que un contrato PPP ha sido adjudicado y se ha renegociado asciende a 2,19 años, siendo en el sector transporte 3,19 años y en sector sanitario 1,16 años. En el artículo se argumenta que el proceso de negociación de las concesiones puede ser deseable, lo que es consistente con las prescripciones de diseño de contrato y su correspondiente flexibilidad, pero debe limitarse sólo a los aspectos exógenos y no controlables por las partes, o a aquellas partes que han sido previamente definidas como negociables, por ejemplo opciones reales. Engel et al (2008) han mostrado que en Chile, cada contrato de concesión ha sido renegociado en promedio 3 veces.

2. Con el *Public Sector Comparator*

Para la determinación de la elección de la modalidad de ejecución (provisión tradicional o provisión a través de un contrato PPP), la sola comparación de costos ajustados por riesgos no es suficiente para determinar la conveniencia. En efecto, de acuerdo a autores como Katz (2006), Regan (2004), Leigland y Shugart (2006), Cameron (2004) e instituciones como National Treasury (2004), PPP Knowledge Center (2002), Industry Canada (2003), Australian Government (2006) señalan que además del PSC se deben tener en cuenta aspectos cualitativos, especialmente los relacionados a las políticas públicas que complementa el desarrollo de un proyecto de inversión pública. La National Audit Office (2002) indica que la comparación cuantitativa debería ser considerada solamente como uno de los aspectos de la evaluación, para ser usado de manera complementaria con análisis cualitativos, y lo señala de la siguiente forma: “*PSCs should be used alongside a range of other information when assessing the value for Money of Public-Private projects (2002, pag. 29)*”. De lo anterior se entiende que el PSC debiera ser una referencia en la

⁶⁰ Por provisión tradicional se entiende que el estado manda a construir el activo pero mantiene la propiedad y la operación.

evaluación y no un criterio único de decisión para el desarrollo de un PPP, y por lo tanto métodos de decisión multicriterio debieran ser implementados.

La metodología de la valoración multicriterio (MVM) se aplica en cualquier proyecto que presente más de una alternativa de solución [Yoon y Hwang (1995), Triantaphyllou (2000)]. En este sentido puede ser necesario en algunos casos considerar criterios adicionales a los estrictamente monetarios, algunos de los cuales no son cuantificables, para así poder determinar el impacto más comprensible de un esquema, modelo o proyecto propuesto.

La MVM se enmarca en la utilización del método científico. Cuando se requieren tomar decisiones analíticas frente a intuitivas, se necesita establecer una serie de principios que permitan: (i) organizar el pensamiento, (ii) estructurar el proceso de pensamiento interno, (iii) analizar el problema, (iv) sintetizar datos, información y conocimiento, y (v) dotar de rigor metodológico, accesibilidad y conocimiento general los resultados obtenidos [Roy (1993), Moreno et al (2001)]. Según Saaty (1996) esto implica combinar aspectos tangibles e intangibles en una escala válida para la toma de decisiones, siguiendo una racionalidad que sea: a) simple en su construcción; b) adaptable a decisiones en grupo e individuales; c) acorde con las intuiciones, valores y pensamientos; d) que potencie el compromiso y el consenso y e) que no exija una especialización suprema para su comprensión.

Uno de los métodos más usados en valoración multicriterio se denomina Proceso de Jerarquía Analítica (AHP por sus siglas en inglés). Este método está diseñado para resolver problemas complejos de decisión multicriterios. AHP requiere que el tomador de decisiones provea juicios acerca de la importancia relativa de cada criterio para luego especificar una preferencia para cada alternativa de decisión usando cada criterio. El resultado de AHP es una clasificación ordenada por prioridades de las alternativas de decisión basada en las preferencias globales del o los tomadores de decisiones. Otros métodos importantes en MVM son: la teoría de la utilidad multiatributo propuesta por Keeney y Raiffa (1976) y los métodos de superación propuestos por Roy (1980,1985).

En AHP para implementar la clasificación entre pares ordinales, en los cuales se cuantifica la importancia con respecto a la preferencia, para lo cual se realizan las siguientes preguntas ¿Cuál de los dos es el más importante? y a continuación ¿Por cuánto? Esta preferencia se expresa mediante una escala, de comparación de pares.

En este sentido, el AHP dispone de una escala creada por el propio Saaty, que mide los juicios emitidos por el grupo que toma la decisión, según las cuales, deben ser tomadas las comparaciones. Estos valores representan una escala absoluta, los cuales permiten operar con facilidad.

Escala de comparación de pares

Intensidad	Definición	Explicación
1	Igual	Dos actividades contribuyen de igual forma al cumplimiento del objetivo.
3	Moderada	La experiencia y el juicio favorecen levemente a una actividad sobre la otra.
5	Fuerte	La experiencia y el juicio favorecen fuertemente a una actividad sobre la otra.
7	Muy Fuerte	Una actividad es mucho más favorecida que la otra; su predominancia se demostró en la práctica.
9	Extrema	La evidencia favorece una actividad sobre la otra, es absoluta y totalmente clara.
2, 4, 6, 8	Para transar entre los valores	Cuando se necesita un compromiso de las partes

intermedios

entre valores adyacentes.

Recíprocos Si la actividad i se le ha asignado uno de los números distintos de cero mencionados cuando se compara con la actividad j , entonces j tiene el valor recíproco cuando se la compara con i ($a_{ij} = 1/a_{ji}$). Hipótesis del método.

Una vez que se ha construido el AHP, el problema se reduce al cálculo de los autovalores y autovectores propios, los que representan las prioridades, así mismo el índice de consistencia del proceso.

En términos matemáticos esto se puede representar de la siguiente manera:

$$Aw = \lambda w$$

Donde:

- A , es la matriz de juicio de las comparaciones de pares, i.e. se hace un tabla de comparaciones entre cada uno de los criterios, donde tenemos que tener en cuenta la razón de importancia y preferencia de un criterio por otro.
- w , es el vector propio de la matriz A
- λ , representa el valor propio de la matriz A .

La matriz de juicio de las comparaciones de pares tiene la siguiente forma:

$$A = \begin{pmatrix} \frac{w_1}{w_1} & \frac{w_1}{w_2} & \frac{w_1}{w_3} & \dots & \frac{w_1}{w_q} \\ \frac{w_2}{w_1} & \frac{w_2}{w_2} & \frac{w_2}{w_3} & \dots & \frac{w_2}{w_q} \\ \frac{w_3}{w_1} & \frac{w_3}{w_2} & \frac{w_3}{w_3} & \dots & \frac{w_3}{w_q} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{w_q}{w_1} & \frac{w_q}{w_2} & \frac{w_q}{w_3} & \dots & \frac{w_q}{w_q} \end{pmatrix}$$

Donde los $a_{ij} = \frac{w_i}{w_j}$ para $1 \leq i, j \leq n$, representan la razón de comparación entre el elemento i y el elemento j de un nivel con respecto al nivel superior. Las entradas a_{ij} satisfacen las siguientes reglas:

- $a_{ij} > 0$
- $a_{ij} > a_{ji}^{-1}, \quad \forall i, j$

- $a_{ii} = 1$

Para que la matriz A sea consistente debe cumplir las siguientes reglas:

- $a_{ij} = a_{ik} \times a_{kj}$, donde i, j, k son cualquier alternativa de la matriz A .
- $a_{ij} > a_{ji}^{-1}$, (recíproca).
- w : el vector propio asociado a la matriz A .
- λ : máximo valor propio de la matriz A .

La etapa siguiente es determinar el autovalor de la matriz, i.e. se transforma el sistema de ecuaciones a un sistema de ecuaciones homogéneo

$$(A - \lambda I) \cdot w = 0$$

Este sistema tiene una solución no trivial, si y sólo si, el determinante de $A - \lambda I$ es nulo, i.e., n es un valor propio de la matriz A . Ahora como la matriz tiene rango unitario⁶¹, por consiguiente, esto indica que existe un autovalor diferente de cero.

Como la suma de los autovalores de la matriz A es igual a su traza, entonces esta es igual a n . Por lo tanto, n es un valor propio, la cual es una solución no trivial, esto se da siempre y cuando la matriz es consistente. El conocer esto, provee una base para determinar la consistencia de la matriz. En el caso que se tenga una matriz inconsistente se trabajara con el $\lambda_{m\acute{a}x}$.

Para la consistencia de la matriz A , se debe considerar lo siguiente:

- Las comparaciones entre pares deben ser transitivas.
- Las comparaciones deben ser numéricamente consistentes.

Para cuantificar la consistencia Saaty (1980) propone los siguientes índices:

$$\text{Indice de Consistencia} = \frac{\lambda_{m\acute{a}x} - n}{n - 1}$$

$$\text{Relación de Consistencia} = \frac{IC}{IA}$$

⁶¹ Una matriz se dice que tiene rango unitario cuando sus filas son un múltiplo constante de la primera fila.

Propuesta de Trabajo e Hipótesis

Hipótesis 1:

La evaluación económica de un proyecto PPP que incorpora opciones de flexibilidad refleja en mejor medida los beneficios netos para la sociedad.

Hipótesis 2:

En presencia de contratos de largo plazo del tipo PPP dónde se hayan identificado, evaluado e incorporado opciones reales, la probabilidad de renegociación debiera ser menor.

Hipótesis 3:

Los diseñadores de políticas y proyectos del tipo PPP están de acuerdo en que se definan y se apliquen una serie de criterios cualitativos que sean complementarios a los criterios cuantitativos que proporciona la evaluación económica tradicional y la aplicación del PSC

Hipótesis 4:

Los resultados que se desprenden de la aplicación de la metodología AHP son consistentes con la determinación de la modalidad de ejecución de un proyecto PPP.

Metodologías

Para las Hipótesis 1 y 2

Para las hipótesis 1 y 2 se considera utilizar la metodología de estudio de casos. Un estudio de caso, según la definición de Yin (1994) es: *“una investigación empírica que estudia un fenómeno contemporáneo dentro de su contexto de la vida real, especialmente cuando los límites entre el fenómeno y su contexto no son claramente evidentes”* (...) *Una investigación de estudio de caso trata exitosamente con una situación técnicamente distintiva en la cual hay muchas más variables de interés que datos observacionales; y, como resultado, se basa en múltiples fuentes de evidencia, con datos que deben converger en un estilo de triangulación; y, también como resultado, se beneficia del desarrollo previo de proposiciones teóricas que guían la recolección y el análisis de datos.* Eisenhardt (1989) lo define como una estrategia de investigación que se focaliza en el entendimiento de la dinámica presente de un problema a través de un escenario único, y puede incluir numerosos niveles de análisis, en la cual la evidencia puede ser cualitativa, cuantitativa o ambas.

El caso de estudio seleccionado corresponde al Puente sobre el Canal de Chacao en Chile. Este proyecto ha sido uno de las más importantes iniciativas impulsados por el gobierno de Chile (GdCh) en el marco del desarrollo de la infraestructura pública con participación activa del sector privado. Lo anterior se ha desarrollado en el contexto de los esquemas de asociación pública privada a través del marco legal provisto por la Ley de Concesiones. En efecto, la construcción de un puente para unir Chile insular con Chile continental a través del canal de Chacao, ha sido una antigua idea y aspiración de la población que habita en el Archipiélago de Chiloé. Este proyecto busca no sólo integrar a los 150.000 habitantes de la isla al resto del país, sino también lograr el desarrollo social y económico de la décima región de Chile.

Para efectos de estructura del presente documento, de forma preliminar se presenta en Anexo I, un avance del caso de estudio.

Para la Hipótesis 3

Para las hipótesis 3 se considera desarrollar en primer lugar un estudio conceptual que defina la inclusión de una serie de variables cualitativas para verificar la conveniencia o elegibilidad de un proyecto PPP y que a su vez dichas variables sean validadas empíricamente junto con la disposición de los diseñadores de políticas y proyectos a utilizar dichos criterios.

Tipo de investigación: Cuantitativa concluyente

Fuentes de información: Primaria

Método de recopilación de información primaria: Entrevistas personales acompañadas de un cuestionario estructurado con formato de respuestas cerradas.

Alcance: México, Perú y Chile

Diseño muestral: Conjunto de profesionales conocedores del concepto de contratos de asociación pública privada en infraestructura y su desarrollo actual, que han participado a lo menos una vez en llevar a cabo proyecto de PPP y que se encuentran en México, Perú o Chile.

Técnicas estadísticas: Análisis factorial y componentes principales

Primera aproximación de criterios y variables a incluir en el análisis conceptual y en el cuestionario a aplicar

Criterio No. 1: Coherencia con el planeamiento estratégico

- Adecuación a la Estrategia del Gobierno
- Adecuación al Plan del Ministerio o Secretaría Sectorial, o Planes de Desarrollo de Gobiernos Regionales, Estatales o Municipales⁶²

Criterio No. 2: Impacto en la competitividad territorial/nacional

- Impacto en las finanzas públicas
- Grado de Innovaciones Institucionales que provoca
- Impactos en la estructura de mercado, en la organización industrial y en la necesidad de regular posibles efectos de monopolio natural

Criterio No. 3: Dificultad en implementación

- Complejidad del diseño de ingeniería de obras y/o arquitectura de edificación
- Evidencia de experiencias previas en países de la región
- Evidencia de experiencias previas en otros países
- Existencia de proveedores para el proyecto
- Tamaño del proyecto
- Complejidad de los componentes de tecnología física (equipamiento especializado)
- Posibilidad de ser alcanzable en el periodo de gobierno (lame duck)
- Presencia de un Líder de Proyecto
- Nivel de cohesión institucional (*joined-up*) para su desarrollo

Criterio No. 4: Acuerdo con los stakeholders

- Riesgos de rechazo de grupos de involucrados en el proyecto (*stakeholders*)
- Tamaño de los involucrados
- Impacto social sobre beneficiarios y usuarios
- Posibilidad de que el proyecto sea tarificado

Criterio No. 5: Capacidad propia del proyecto de sostenerse en el largo plazo

- Capacidad del proyecto de transferir riesgos al sector privado
- Capacidad de replicarse por su estructura de solución y su diseño económico

⁶² En Chile y Perú se usa la palabra Ministerios. En México Secretarías. Los gobiernos regionales se usan en Chile y Perú, mientras que en México existen los estados mexicanos. En los tres países se usa el concepto de municipalidades.

- Atractibilidad privada
- Capacidad de generar competencia en la adjudicación
- Grado de Bancabilidad

Criterio No. 6: Posibilidad de implementar Flexibilidad en el diseño del modelo de negocio contractual

- Genera opciones de crecimiento
- Es posible desarrollarlo por etapas
- Implica inversiones irreversibles
- Permite opciones de salida, abandono o postergación
- Genera opciones de ampliación (reducción)

Para la Hipótesis 4

Aplicación de la metodología AHP a un potencial proyecto PPP en Chile, México y Perú. Siguiendo a Saaty (1980), las etapas de la metodología AHP que se aplicarán en cada país y a un proyecto PPP sigue el siguiente procedimiento:

1. Definición del Problema
2. Definición de los criterios
3. Jerarquizar el proceso
4. Selección de las alternativas factibles
5. Construcción del modelo jerárquico
6. Ingreso de los juicios
7. Síntesis de los resultados
8. Validación de la decisión

Referencias Bibliográficas

1. Antikarov, V. y T. Copeland (2001) *Real Options a Practitioner's Guide*. Thompson.
2. Australian Government (2006) "Policy Principles for the Use of Public Private Partnerships" Department of Finance and Administration. Australian Government.
3. Bailey, W., Bhandary, A., Faiz, S., Srinivasan, S. y H. Weeds (2004) "Valoración de Opciones Reales" *Oilfield Review*. Primavera 2004.
4. Bennett, J. y E. Iossa (2006) "Building and Managing Facilities for Public Services," *Journal of Public Economics*, 90, pp. 2143-60
5. Black, F. y M. Scholes (1973) "The pricing of options and corporate liabilities", *Journal of Political Economy*, 81, 1973
6. Blanc-Brude, F., Goldsmith, H. y Vålilä T. (2007) "Public-Private Partnerships in Europe: An Update" *Economic and Financial Report 2007/03*. European Investment Bank
7. Block, S. (2007) "Are "real options" actually used in the real world?" *The Engineering Economist*, 52, pp. 255-267 Fall 2007
8. Boardman, A., Greenberg D., Vining A. y D. Weimer (2001) *Cost-Benefit Analysis Concepts and Practice*. Prentice Hall. Second Edition.
9. Boer, P. (2002) *The Real Options Solution: Finding Total Value in a High-Risk Model*. John Wiley and Sons, Inc. 2002
10. Boyle, P. (1977) "Options: A Monte Carlo Approach," *Journal of Financial Economics* 4 (May), pp. 323-338.
11. Brach, M. (2003) *Real Options in Practices*. John Wiley and Sons, Inc. 2003
12. Cameron, U. (2004) "Public Sector Comparator: Development y Practical Use" KPMG 2004
13. Castro, R. y K. Mokate (2003) *Evaluación Económica y Social de Proyectos de Inversión*. Alfaomega 2003.
14. Cox, J., Ross, S. y M. Rubinstein (1979) "Option Pricing: A Simplified Approach", *Journal of Financial Economics*, Vol. 7, September, 229-263.
15. Demirag, I., Dubnick, M. y M. Khadaroo (2004) "A Framework for Examining Accountability and Value for Money in the UK's Private Finance Initiative" *Journal of Corporate Citizen Autumn 2004*
16. De Bettignies, J.E. y T. Ross (1974) "The Economics of Public-Private Partnerships" *Canadian Public Policy – Analyse de Politiques*, Vol. XXX, No 2 2004
17. De Rus, G. (2004) *Análisis Costo Beneficio: Evaluación Económica de Políticas Públicas y Proyectos de Inversión*. Ariel, 2ª Edición.
18. Eisenhardt, K. (1989) "Building theories from case study research". *Academy of Management Review*, 14
19. Engel, E., Fischer, R. y A. Galetovic (2007) "The Basic Public Finance of Public Private Partnerships" Mimeo World Bank
20. Engel, E., Fischer, R., A. Galetovic y M. Hermosilla (2008) "La Renegociación de Concesiones y la Nueva Ley" *Puntos de Referencia* 297 Centro de Estudios Públicos
21. Estache A., L. Guasch y L. Trujillo (2003) "Price Caps, Efficiency Payoffs, and Infrastructure Contract Renegotiation in Latin America" *World Bank Policy Research Working Paper* 3129, Washington D.C.
22. Esteban, M. (2006) "La colaboración pública-privada en la provisión de infraestructuras: una valoración de la experiencia internacional", *Economías*, No63, 3er trimestre 2006
23. Fitzpatrick, S. (2006) "Asociaciones público-privadas: Principales Aspectos económicos y directrices básicas", Universidad de Hamburgo 2006
24. Fredberg, T. (2007) "Real Options for Innovation Management" *International Journal of Technology Management* 2007-Vol. 39 pp. 72-85
25. Flyvbjerg, B., Skamris Holm, M. y S. Buhl (2002) "Underestimating costs in public works projects: Error or lie?" *Journal of the American Planning Association*; Summer 2002
26. Gerrard, M. (2001) "Public-Private Partnerships," *Finance and Development*, 38, pp. 48-51
27. Gobierno de Chile (2003) "Evaluación Social del Puente sobre el Canal de Chacao" Unidad de Demanda y Evaluación Social Coordinación General de Concesiones MOP Chile
28. Gobierno de Chile (2004) "Bases de Licitación Concesión Internacional Puente Canal de Chacao" Ministerio de Obras Públicas

29. Grout, P. (2002) "Public and Private Sector Discount Rates in Public - Private Partnerships". CMPO University of Bristol, Working Paper Series N° 03/059
30. Guash, J.L. (2004) Granting and Renegotiating Infrastructure Concessions: Doing it Right, World Bank Institute Development Studies, Washington, D.C.
31. Guash, J.L. , Laffont, J.J. and E. Straub (2005) " Infrastructure Concessions in Latin America: Government-led Renegotiations" World Bank Policy Research Working Paper 3749, October 2005
32. Guivernau, J.M. (2005) Estudio de la Flexibilidad Empresarial desde la Perspectiva de las Opciones Reales. Tesis Doctoral. ESADE Universidad Ramón Llul
33. Hart, O. (1995) Firms, contracts, and financial structure, Oxford University Press.
34. Hart, O. (2003) "Incomplete Contracts and Public Ownership: Remarks and an Application to the Public Private Partnerships". The Economic Journal. No 113
35. Hart, O. (1998) Firms, Contract, and Financial Structure. Clarendon Press
36. Hart, O. (1975) "On the Optimality of Equilibrium when the Market Structure is Incomplete," Journal of Economic Theory, 11 , pp. 418-443.
37. Heald, D. (2003) "Value for Money Tests and Accounting Treatment in PFI Schemes", Accounting, Auditing and Accountability Journal 16.3 pp. 342-71.
38. Hemming, R. (2006) "Public-Private Partnerships, Government Guarantees and Fiscal Risk" Washington, DC: IMF.
39. HM Treasury (2004) "Value for Money Assessment Guidance"
40. HM Treasury (2003) The Green Book: Appraisal and Evaluation in Central Government. HM Treasury UK
41. HM Treasury (1999) How to Construct a Public Sector Comparator: Technical Note 5. HM Treasury UK
42. Industry Canada (2003) The Public Sector Comparador. 2003.
43. Jensen, M.C y W. Meckling (1976) "Theory of the firm: Managerial behavior, agency costs and ownership structure. Journal of Financial Economics. Vol.3.
44. Katz, D. (2006) "Financing Infrastructure Projects: Public Private Partnerships (PPPs)" New Zealand Treasury
45. Keeney, R.L. y Raiffa, H. (1976) Decisions with Multiple Objectives: Preferences and Value Tradeoffs. Ed. Wiley, New York.
46. Kester, W.C (1984) " Today's options for tomorrow's growth" Harvard Business Review, Vol 62 No 2 (1984) pp 153-160
47. Leigland, J. y C. Shugart (2006) "Is the public sector comparator right for developing countries? Appraising public-private projects in infrastructure" Note 4 PPIAF World Bank
48. Leung, B. y E. Hui (2005) " Evaluation approach on Public-Private Partnerships (PPP) Urban Redevelopment" International Journal of Strategic Property Management, 2005; 9
49. Marcel, A. (2003) "El real valor de las opciones reales" Jornadas Anuales de SADAF. 2003
50. Martimort, D. y J. Pouyet (2006) "To Build or Not to Build: Normative and Positive Theories of Private-Public Partnerships," to appear in International Journal of Industria lOrganization.
51. Mascareñas, J., Lamothe P. López L. F. y W. de Luna (2004) Opciones Reales y Valoración de Activos. Madrid. Prentice Hall. 2004.
52. Moreno, J. , Aguarón, J. y M.T. Escobar (2001) " Metodología Científica en Valoración y Selección Ambiental" Pesquisa Operacional vol.21 no.1 June 2001
53. Mun, J. (2006) Modeling Risk: Applying Monte Carlo Simulation, real options analysis, forecasting, and optimization techniques. Wiley Finance, 20
54. Myers, S.C. (1977) "Determinants of Corporate Borrowing" Journal of Financial Economics. Vol. (5) 2, pp. 147-175.
55. National Audit Office (2002) "Redevelopment of MOD Main Building". Report by the Comptroller and Auditor General London, UK.
56. National Treasury (2004) PPP Practice Note Number 05 of 2004
57. Newberry, S. y J. Pallot (2003) "Fiscal Responsibility: Privileging PPPs in New Zealand" Accounting Auditing and Accountability Journal 16.3 pp. 467-92.
58. Partnership Victoria (2001): "Public Sector Comparator Technical Note"
59. Partnerships Victoria (2003), Use of Discount Rates in the Partnerships Victoria Process. Technical Note.
60. PPP Knowledge Center (2002) "Public Sector Comparator" Ministry of Finance The Netherland

61. Pearce, D., Atkinson, G, y S. Mourato (2007) *Cost-Benefit Analysis and Environment: Recent Developments* OECD, 2007 (también en francés).
62. Porter, M. (1985) *Competitive Advantage: Creating and Sustaining Superior Performance*, New York: The Free Press, 1985
63. Regan, M. (2004) "Public Private Partnerships: Do They Money Add Value to Infrastructure Procurement?" Draft. Australian Centre of Public Infrastructure
64. Ross, S. (1972) "The Economic Theory of Agency: The Principal's Problem" *American Economic Review*, Vol. 63, 2.
65. Rothenberg, J. (1987) "Privatization of Public-Sector Services in Theory and Practice" *Journal of Policy Analysis and Management* 6: pp. 523
66. Roy, B. (1993) *Decision science or decision-aid science?* *European Journal of Operational Research*, 66, pp. 184-203
67. Roy, B. (1985). *Méthodologie Multicritère d'Aide à la Décision*. *Gestión Económica*.
68. Saaty, T. L. (1996) *The Analytic Network Process*. RSW Publications
69. Saaty, T.L. (1977) "A scaling method for priorities in hierarchical structures". *Journal of Mathematical Psychology*, 15, pp. 234-281.
70. Saaty, T.L. (1980) *The Analytic Hierarchy Process*. McGraw-Hill, New York.
71. Sadka, E. (2006) "Public-Private Partnerships: A Public Economics Perspective" Working Paper IMF
72. Sappington, D. E. y J. E. Stiglitz (1987) "Privatization, Information and Incentives". *Journal of Policy Analysis and Management* 6: pp. 567-582
73. Savas, E. (2000) *Privatization and Public-Private Partnerships*. New York: Chatam House Publishers.
74. Schwartz, E. y L. Trigeorgis (2003) *Real Options and Investment under Uncertainty: Classical Readings and Recent Contributions*. The MIT Press.
75. Shleifer, A. (1998) "State versus private ownership", *Journal of Economic Perspectives*, vol. 12 pp. 133-50
76. Schubert, W. y L. Barenbaum (2007) "Real Options and Public Sector Capital Project Decision-Making" *Journal of Public Budgeting, Accounting & Financial Management*; Summer 2007; 19, 2
77. Standard and Poor's (2004) *Credit Survey of the Private Finance Initiative and Public Private Partnerships*, Public Finance/Infrastructure Finance, Standard & Poor's, New York, April.
78. Steer Davies Gleave (2002) "Estudio Complementario de Demanda Puente Bicentenario Chiloé". Coordinación de Concesiones Ministerio de Obras Públicas Chile.
79. The Canadian Council for Public Private-Private Partnership (2003): "Hospitals: The Canadian Case for Hospital PPP Projects"
80. Treasury Task Force (1999) "How to Construct a Public Sector Comparator".
81. Triantaphyllou, E. (2000) *Multi-Criteria Decision Making Methods: A comparative Study* Kluwer Academic Publishers
82. Trigeorgis, L. (1999) *Real Options: Managerial Flexibility and Strategy in Resource Allocation*. The MIT Press.
83. Valila, T. (2005) "How Expensive Are Cost Savings? On the Economics of PPPs" *The European Investment Bank Papers*, Vol. 10, No. 1, pp. 94-119.
84. Williamson, O.E. (1985) *The Economic Institutions of Capitalism*, New York: The Free Press, 1985.
85. Yescombe, E.R. (2007) *Public-Private Partnerships: Principle of Policy and Finance*. Elsevier Finance
86. Yin, R. (1994) *Case Study Research: Design and Method*. SAGE Publications
87. Yoon, K.P. y C. Hwang (1995) *Multiple Attribute Decision Making: An Introduction*, SAGE Publication, 1995

Anexo I

Opciones Reales en la Aplicación de la Concesión del Puente sobre el Canal de Chacao en Chile

Contexto

El Puente sobre el Canal de Chacao ha sido uno de los más importantes proyectos impulsados por el gobierno de Chile (GdCh) en el marco del desarrollo de la infraestructura pública con participación del sector privado. Lo anterior, en el marco de los esquemas de asociación pública privada tomando como referencia el cuerpo legal provisto por la Ley de Concesiones. En efecto, la construcción de un puente que una Chile insular con Chile continental a través del canal de Chacao, ha sido una antigua idea y aspiración de la población que habita en el Archipiélago de Chiloé. Este proyecto busca no sólo integrar a los 150.000 habitantes de la isla al resto del país, sino también lograr el desarrollo social y económico de la décima región.

Actualmente, la conexión se realiza a través de un sistema de transbordadores privados que unen ambas costas. El trayecto, que tiene una longitud de 2.6 Km., se hace en tiempos normales promedios de 1 hora, pero en condiciones más exigentes, esto puede tomar hasta 3 horas o incluso suspenderse por razones climáticas. El beneficio es claro, con el Puente construido el viaje podría realizarse en 3 minutos.

El proyecto se divide en dos grandes obras que corresponden al puente sobre el canal de Chacao 1. Una estructura colgante de 2.6 Km de longitud total y 2. Obras viales de acceso al Puente. Técnicamente, la infraestructura del puente está compuesta por tres pilas de gran altura, dos fundadas en el mar mediante pilotes como son las pilas central (en forma de “A” sobre una roca) y norte, y una fundada en forma directa sobre una meseta baja de la ribera sur.

El negocio privado de la Concesión

El proyecto ha sido diseñado a través de una concesión denominada “Puente Bicentenario de Chiloé” de tal forma que el sector privado construya, opere y mantenga el Puente y sus accesos por un periodo de 35 años. La adjudicación se realizó en Enero del año 2005 a un consorcio formado por empresas constructoras y de ingeniería⁶³. La inversión estimada por la autoridad pública al momento de la adjudicación ascendía a 410 millones de dólares. El plazo de construcción estimado era de 5 años. De acuerdo a las estimaciones del GdCh la concesión no requiere subsidios del Estado pero sí una garantía de ingresos mínimos (IMG) durante todo el periodo de explotación y una garantía estatal especial para el financiamiento de la etapa de construcción. La fuente de ingresos de la concesionaria proviene del cobro de peajes por cruzar el puente, diferenciados para los distintos tipos de vehículos y reajustados por inflación anual más un crecimiento real del 3%. Las principales fuentes de incertidumbre del proyecto están determinadas por los riesgos de ingeniería, particularmente geológicos y de ingresos.

Para mitigar el primer riesgo, el GdCh ha ofrecido opciones de salida o de abandono del proyecto, para ser ejercida por parte del gobierno o por parte del Concesionario. Para el segundo, el gobierno

⁶³ El consorcio está formado por la empresa alemana Hochtief, el grupo francés Vinci, la empresa americana American Bridge, y las constructoras chilenas Besalco y Tecsa.

ha ofrecido una garantía de ingresos mínimos (IMG), la que puede ser modelada como una opción de venta (put) sobre los ingresos del proyecto.

Evaluación Social

La metodología tradicional de evaluación social de proyectos para infraestructura vial analiza los mejoramientos de las rutas basados en los ahorros directos de los costos de transitar por ellos y el menor tiempo disponible para las personas que ocupan los vehículos que transitan. De allí que esta metodología enfatice la cuantificación del flujo vehicular esperado “sin” y “con” proyecto para los distintos tipos de vehículos [De Rus (2004), Fontaine (1973)]. En efecto, el análisis costo-beneficio considera las diferencias de costos entre las alternativas con y sin proyecto, constituyéndose este ahorro de costo en los beneficios brutos del proyecto. Si la inversión no considera tránsito generado, y asumiendo por simplicidad una sola tipología de vehículos, entonces el valor actualizado de los beneficios se puede formular como sigue:

$$VBB = \sum_{t=1}^n \frac{[\Delta CGC_t \times Q_t] + \Delta CM_t}{(1+r)^t}$$

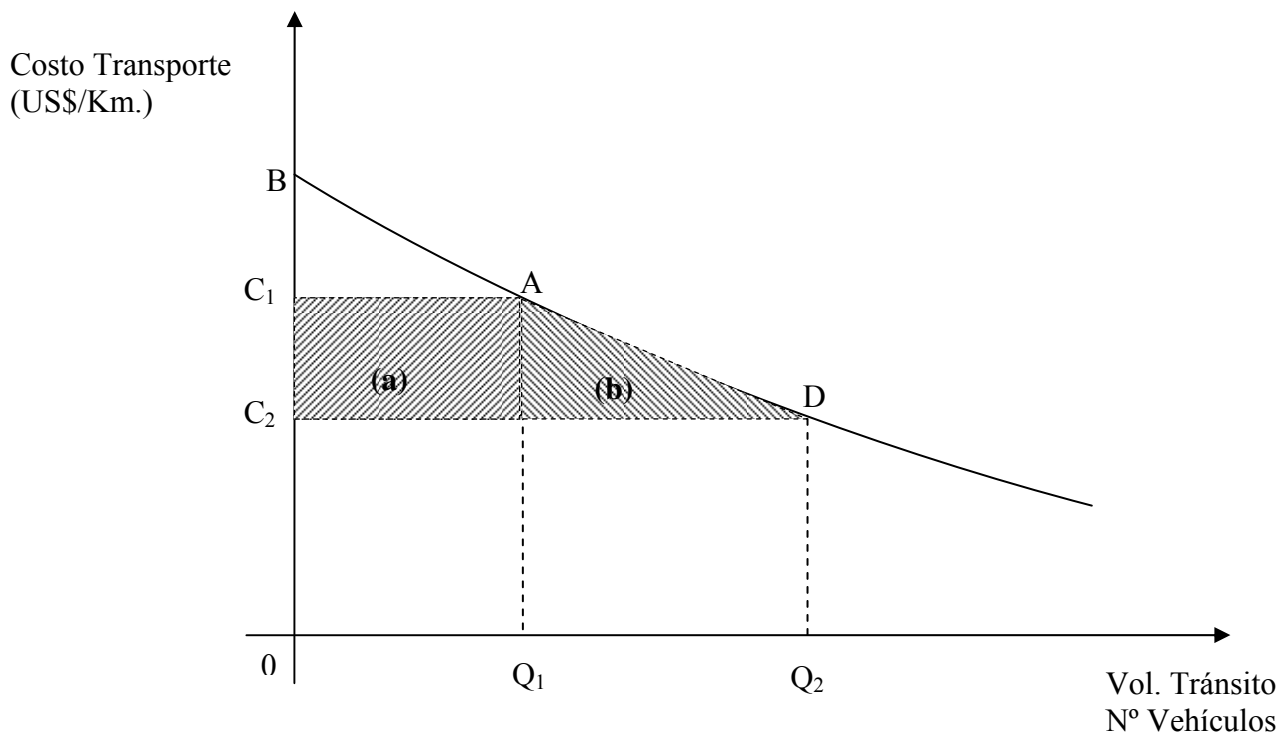
Dónde

VBB	: Valor actualizado de los beneficios brutos
t	: Año
ΔCGC	: Diferencia entre el Costo Generalizado de Viaje de una situación sin y con proyecto
ΔCM	: Diferencia del Costo de Mantenimiento de una situación sin y con proyecto
r	: Tasa social de descuento

El costo generalizado de viaje (CGV) incluye los costos de operación de los vehículos, el costo del tiempo de los usuarios y los costos derivados de los accidentes de tránsito.

Los beneficios medidos mediante el concepto del excedente del consumidor se representan en el siguiente gráfico, en que C_1 y Q_1 corresponden a los costos de transporte y volumen de tránsito en el año n, para la situación actual o “sin proyecto”. El excedente de los usuarios en esta situación corresponde al área ABC_1 (este excedente se obtiene por cuanto los usuarios gastan o pagan por el transporte V_1 un valor representado por el área OC_1AQ_1 , en condiciones que hubiese estado dispuesto a pagar $OBAQ_1$).

Al mejorarse la conectividad (el camino), “situación con proyecto”, el costo de transporte disminuye a C_1 , con lo que el volumen de tránsito aumenta a Q_1 , provocando un incremento del excedente del consumidor, reflejado en el área achurada del gráfico y que representa el beneficio atribuible al proyecto.



Este beneficio está compuesto por:

El área (a) que corresponde a los beneficios de los usuarios actuales de la conectividad derivados por ahorros de costos de transporte (beneficios del tránsito normal), y el área (b) que representa el beneficio asociado al tránsito inducido por el proyecto, tanto por el tránsito generado por disminución de costos de viaje, como por el desviado de caminos alternativos.

El gráfico anterior muestra un esquema general para el caso de un tipo de vehículo con una curva de demanda agregada al conjunto de usuarios⁶⁴.

Si asumimos que los costos actualizados de la inversión inicial en la construcción del puente se representa por VAI, entonces el análisis costo-beneficio queda determinado por:

$$VAN = -VAI + \sum_{t=1}^n \frac{[\Delta CGC_t \times Q_t] + \Delta CM_t}{(1+r)^t}$$

Esta metodología parece razonable en una situación en que el tránsito normal es significativo y las economías de costos de transporte representan una medida confiable de los beneficios del proyecto, es decir no están sujetas a incertidumbre, especialmente válido para los costos de inversión, la

⁶⁴ En la práctica, se diferencian los diferentes tipos de vehículos que ocupan habitualmente los servicios de conectividad (ferry boat) y para cada uno de ellos se determina el volumen de tránsito actual y sus proyecciones en el tiempo para la situación “sin” y “con” proyecto. Para cada una de estas situaciones se puede estimar el costo de operación por tipo de vehículo, tomando en consideración las características físicas del camino. El beneficio total corresponde a la suma de los beneficios parciales por tipo de vehículo calculado como diferencia entre los costos de la situación sin y con proyecto.

estimación de la demanda generada y actual, y las proyecciones de tránsito en el periodo de evaluación del proyecto.

Tomando en consideración lo anterior, el GdCh (2003) realizó la evaluación social del proyecto. Desde la perspectiva social, la evaluación del Puente Bicentenario se dirige a cuantificar los beneficios provenientes de los ahorros por concepto de consumo de recursos que deben ser destinados para realizar el transporte de bienes y personas entre un lado y el otro del Canal de Chacao. Dichos beneficios se calculan respecto de la situación base que se establezca. En la medida que estos beneficios valorados a precios sociales y puestos en valor presente utilizando una tasa de descuento social apropiada, sean superiores a la diferencia entre los montos de inversión de las dos alternativas, se podrá concluir respecto de la conveniencia desde el punto de vista social de implementar la alternativa de proyecto. Bajo este marco, las fuentes de beneficios y/o costos del sistema de transporte que se consideraron para realizar la evaluación social del proyecto están asociadas principalmente a:

- Fuentes de Beneficios
 - Reducción de los tiempos de viaje de las personas que cruzan el canal
 - Reducción de los tiempos de espera asociados a la congestión producida en el sistema de transbordadores como consecuencia de los aumentos en la demanda.
 - Reducciones de los consumos de combustible de vehículos y naves
 - Ahorros por concepto de costos de operación y mantención de transbordadores e infraestructura naviera.
- Fuentes de Costos
 - Inversión y Mantención del Puente, vías de acceso e infraestructuras anexas.
 - Aumento de los costos de operación y mantención de los vehículos que circularán sobre la nueva infraestructura.

La evaluación definió la situación base como la Operación de 24 horas al día de una flota de 8 transbordadores con capacidad de 170 metros lineales (ml), salidas cada 10 minutos en cada uno de los márgenes del canal y distribución uniforme de la demanda diaria (minimización de los tiempos de espera de los usuarios). Para la determinación de la capacidad de transporte del sistema de transbordadores se estableció la capacidad de metros lineales útiles en la cubierta de las naves, dado que por las características de la operación de las naves no resulta relevante el tonelaje máximo, sino las dimensiones que permitan acomodar vehículos en la cubierta. En las condiciones señaladas, la flota presenta una capacidad de transporte definida por 288 salidas/día (6 salidas/hora × 2 rampas × 24 horas/día) y una capacidad por nave de 170 ml.

Como se ha señalado, los principales beneficios del proyecto son los ahorros de tiempo de los usuarios. Obsérvese que en la situación actual, el tiempo promedio de circulación asciende a 1 hora de viaje, mientras que la situación con proyecto el viaje no toma más de 5 minutos. En general, es necesario señalar que en un sistema de transportes en el cual la demanda aumenta y la oferta permanece constante, es posible apreciar, en distintos momentos, situaciones respecto a las demoras, las que se pueden clasificar en tres grupos:

1. Demora tipo A: Se define por el tiempo consumido en la realización normal del viaje, sin considerar los efectos de la congestión (o exceso de demanda).
2. Demora tipo B: Es aquella definida por el tiempo consumido como consecuencia de la realización del viaje teniendo que esperar antes de realizarlo (efecto de congestión), pero en

la situación en la cual la demanda global se encuentra por debajo de la oferta (bajo la sobresaturación).

3. Demora tipo C: Es aquella definida por el tiempo consumido como consecuencia de la realización del viaje teniendo que esperar antes de realizarlo, pero en la situación en la que la demanda se encuentra por sobre la oferta.

Dado que se define una situación base con oferta fija, al considerar el perfil de demanda ascendente, se irán produciendo las distintas demoras. Para la cuantificación de beneficios por tiempo, se analizaron cada una de las situaciones antes descritas, considerándose como beneficios el cambio de tiempo geométrico de la situación con proyecto y la situación base, el tiempo consumido por demora uniforme en la situación base (dado que en la situación con proyecto no se produce congestión) y la demora por sobresaturación de la situación base.

La información del tránsito y de la demanda proyectada que se ha utilizado en la evaluación social fue realizado por la firma inglesa Steer Davies Gleave (2002). El estudio de SDG señala que el tránsito se ha proyectado asumiendo una fuerte correlación con el crecimiento futuro del PIB y enfatiza que resulta complejo modelar el comportamiento de los usuarios potenciales, especialmente su disponibilidad a pagar por un servicio mejor y más rápido. Asimismo, resalta la dificultad de modelar el crecimiento de la demanda futura, para todas las categorías de vehículos y la estimación de los cambios ocurridos en el comportamiento de usuarios en el tiempo, los que resultan de modificaciones en los ingresos per-capita, cambios en los procesos de producción y nuevas tendencias de localización de la producción, exportaciones y actividades turísticas.

Con los análisis anteriores, y usando la metodología costo- beneficio los resultados de la evaluación fueron los siguientes:

Indicador	Valor
TIR (real)	29,38 %
VANS (10%) ⁶⁵ en Millones US\$	4,297

Fuente: Adaptado de MOP 2003

La evaluación también consideró análisis de sensibilidad en lo relacionado a aumento de costos de inversión, reducción por beneficios de ahorro de tiempo y crecimiento de PIB bajo un escenario conservador. Los resultados se muestran a continuación:

Resumen de Indicadores		
Escenario	TIR	VANS (Millones US\$)
Inversión + 20%	28,02 %	4.258
Beneficios por Tiempo – 50%	24,41 %	2,052
Crecimiento del PIB Pesimista SDG	21,76 %	2.044.

Fuente: Adaptado de MOP 2003

⁶⁵ El valor de la tasa social de descuento que se usa en Chile asciende a 10%. Las cifras originales están expresadas en unidades monetarias constante que se ajustan por inflación (UF), la que asciende a UF 144,484,553 A Diciembre 2001 la UF=16,262.66 pesos y el tipo de cambio ascendía a 546.71 pesos por dólar.

Finalmente, para el análisis de los efectos indirectos el proyecto cuenta con un estudio de impacto ambiental de acuerdo a la normativa vigente en Chile y con estudio de impacto territorial dónde se analizan los efectos en la población.

Una de las observaciones importantes, es que el análisis de riesgo e incertidumbre no fue introducido de manera explícita en los análisis del estudio de la evaluación social. Si bien el estudio de demanda de SDG realiza un análisis de riesgo de manera cualitativo, estos no fueron considerados en la evaluación social, a excepción del análisis de sensibilidad, los que son incompletos en capturar los efectos que produce la incertidumbre en la evaluación de proyectos.

Sin embargo, como parte del diseño de la concesión, el GdCh si realizó un análisis de riesgo completo, pero solamente bajo un enfoque de agentes, es decir, tal como lo aconseja la teoría de las asociaciones público privadas, los riesgos deben ser asumidos por el agente mejor preparado. Para lo anterior se realizó un proceso de identificación, asignación y mitigación de riesgos que llevó al diseño de un negocio privado con opciones de salida para mitigar riesgos de ingeniería y otorgamiento de garantías financieras para mitigar riesgos de demanda y de financiamiento.

Las opciones reales implementadas

Para mitigar riesgos de ingeniería se determinaron en el contrato⁶⁶ 3 fases. Cada una de las etapas estaba sujeta a los resultados de la etapa anterior. Las fases que se identificaron fueron: Fase 1: Ingeniería, Fase 2: Construcción y Fase 3:Explotación.

A su vez, la Fase 1 de Ingeniería contempla tres Subfases:

- Subfase I : Prospecciones Geológicas Complementarias.
- Subfase II : Validación de Parámetros de Diseño y Propuesta de Estructura Financiera.
- Subfase III : Ingeniería Definitiva y Estructura Financiera Definitiva.

El plazo total estimado para la Fase 1 era de 2,5 años. Este plazo considera revisiones del MOP y autorizaciones para pasar a la siguiente Subfase.

El siguiente cuadro muestra la descripción de la opción de salida a favor del Estado:

Sub Fase	Descripción Subfase	Variable de Riesgos	Descripción de la Opción	Precio
I	La concesionaria deberá ejecutar todos los sondajes y prospecciones necesarios para complementar la totalidad de los estudios y requerimientos para la ingeniería definitiva. Adicionalmente deberá entregar un informe incluyendo la opinión de la concesionaria en relación con la conveniencia o no de continuar con las actividades asociadas a las subfases siguientes,	Sobrecostos y sobrepazos debido a riesgo de geología y condiciones del fondo marino, tomando como referencia un presupuesto referencial de 410 millones de dólares	El Estado tiene la opción de colocar término anticipado al contrato de concesión debido a la inconveniencia para el interés fiscal de continuar adelante con las siguientes fases	US\$ 3 millones

⁶⁶ Bases de Licitación (2004)

II	La concesionaria deberá desarrollar y presentar todos los parámetros de diseño que sean necesarios y requeridos para la ingeniería definitiva de todas las obras. Además, deberá entregar un presupuesto con el costo total del puente. Este monto deberá incluir todos los costos asociados al diseño, construcción, mantenimiento, y explotación de la Concesión, incorporando los respectivos costos financieros.	Sobrecostos en cubicaciones, precios unitarios de materiales y costos del financiamiento para la etapa de construcción tomando como referencia un presupuesto referencial de 410 millones de dólares	El Estado tiene la opción de colocar término anticipado al contrato de concesión debido a la inconveniencia para el interés fiscal de continuar adelante con las siguientes fases dado que el costo total presentada por la Concesionaria supera el monto de 609 millones de dólares, valor máximo que el Estado puede garantizar para la etapa de construcción.	10 millones de dólares
III	La concesionaria deberá desarrollar todos los proyectos de ingeniería definitiva de todas aquellas obras y la estructura financiera definitiva necesaria para materializar esta obra.	Sobrecostos de Construcción y de tasa de interés de financiamiento tomando como referencia un presupuesto referencial de 410 millones de dólares	El Estado tiene la opción de colocar término anticipado al contrato de concesión debido a la inconveniencia para el interés fiscal de continuar adelante con la fase 2 de Construcción dado que el costo total presentada por la Concesionaria supera el monto de 609 millones de dólares, valor máximo que el Estado puede garantizar para la etapa de construcción.	20 millones de dólares

Así como el GdCh tiene el derecho pero no la obligación de ejercer las opciones de salida, también el contrato establece estas opciones a favor del concesionario. Estas opciones se denominan “extinción de la concesión a solicitud de la concesionaria”. Estas opciones se pueden gatillar al término de cada una de las Subfases señaladas por las siguientes dos razones: i) Las garantías otorgadas por el Estado no son suficientes para obtener el financiamiento del proyecto y ii) Por eventos de fuerza mayor que no permitan el financiamiento necesario del proyecto. En caso que el concesionario ejerza las opciones de extinción de la concesión, el GdCh debe pagarle un precio que fluctúa entre 3 y 20 millones de dólares, dependiendo la Subfase donde el concesionario se encuentre.

En la Fase 2 correspondiente a la etapa de construcción, y una vez conocidos los resultados de la Fase 1, la concesionaria asume completamente el riesgo de construcción (costo y plazo). Para lo anterior, debe entregarle al GdCh una garantía de construcción por un valor de 40 millones de dólares. Además debe realizar un aporte de capital equivalente a 50 millones de dólares.

En esta etapa y con la finalidad de facilitar el financiamiento en moneda extranjera, el gobierno ofrece a la concesionaria una garantía de tipo de cambio. Bajo este acuerdo, el gobierno le paga a la

concesionaria si la moneda local se deprecia en más del 10%, tomando como referencia un valor del dólar previamente definido, pero el concesionario debe pagarle al gobierno si la moneda local se aprecia en más del 10%. No existen pagos si el tipo de cambio fluctúa entre las bandas del 10%.

De esta forma cada año el gobierno pagará al concesionario:

$$PCC_t = \frac{S_t}{0,9 \times TC_0} \times \frac{[0,9 \times TC_0 - TC_t]}{TC_t} \quad \text{si } TC_t < 0,9 \times TC_0$$

y de manera análoga el concesionario pagará al gobierno si

$$PCC_t = \frac{S_t}{1,1 \times TC_0} \times \frac{[TC_t - 1,1 \times TC_0]}{TC_t} \quad \text{si } TC_t > 1,1 \times TC_0$$

TC_0 : El Tipo de Cambio US\$/UF al momento del cierre financiero

TC_t : El Tipo de Cambio US\$/UF en la fecha correspondiente al pago de servicios de deuda estipulada por el Concesionario en el contrato de financiamiento

PCC_t : Monto del pago

S_t : Pago de servicio de deuda incluyendo intereses y amortizaciones en el año t expresado en dólares

La garantía de tipo de cambio le entrega al concesionario una opción de compra (call) en dólares con un precio de ejercicio 10% más alto que el tipo de cambio vigente al momento del cierre financiero. Esto significa que el inversionista recibe un pago de compensación si el valor del dólar expresado en UF se aprecia más del 10%. El gobierno recibe de parte del concesionario una opción put en dólares con un precio de ejercicio de 10% más bajo que el tipo de cambio al momento del cierre financiero. Esto significa que el gobierno recibe un pago si el valor de dólar expresado en UF se deprecia más de un 10%. En el siguiente cuadro se muestra la transacción:

	Vendedor	Comprador
Gobierno	Opción Call	Opción Put
Concesionario	Opción Put	Opción Call

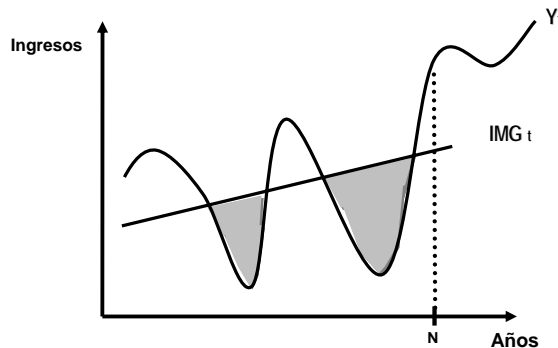
En la literatura financiera y la práctica de los mercados se utilizan básicamente modelos derivados de la fórmula de Black y Scholes (1973) para valorar opciones europeas de divisas. El modelo más utilizado, es el propuesto por Garman y Kohlhagen (1983) que parte de la adaptación de Merton (1973) al modelo de Black y Scholes (1973).

En la Fase 3 denominada etapa de explotación, se realiza el financiamiento de largo plazo en base a un mecanismo de Ingresos Mínimos Garantizados (IMG), el cual permite distribuir los riesgos originados por la incertidumbre en el tránsito que paga peaje o tarifa en la concesión durante la etapa de explotación. El Estado garantiza a la concesionaria un monto anual IMG_t . La garantía otorgada por el gobierno toman un valor igual a la diferencia $(IMG_t - Y_t)$ si $Y_t < IMG_t$ o el valor de cero si $Y_t > IMG_t$, donde Y son los ingresos por peajes.

La garantía IMG puede tomar valores iguales a:

1. $p = (IMG_t - Y_t)$ si $Y_t < IMG_t$
2. $p = 0$ si $Y_t \geq IMG_t$

Obsérvese que el valor de la garantía tiene la misma forma que los pagos para una opción de venta en un activo subyacente cualquiera. Esto se analiza más abajo.



El área achurada muestra el caso cuando las garantías se activan. Los ingresos por peaje caen por debajo del seguro IMG (la línea recta con pendiente) y por lo tanto corresponde, que conforme al contrato, el gobierno pague la diferencia.

La garantía puede ser modelada como una opción put⁶⁷. Por ejemplo, el valor intrínseco de una opción put sobre acciones (S) se puede definir como el valor que tendría una opción en un momento determinado si se ejerciese inmediatamente. Formalmente se calcula cómo:

$$p = MAX [0, E - S]$$

Adicionalmente, el comprador de una opción estará dispuesto a pagar un precio superior al valor intrínseco si espera que hasta el vencimiento los precios en el mercado puedan modificarse de tal forma que obtenga un beneficio superior ha 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.

Bajo el mismo principio usado para la conceptualización de la garantía de ingreso mínimo, el gobierno ha establecido una banda de compartición de ingresos, cuando éstos han sobrepasado un cierto nivel. En efecto, si los ingresos de la concesión (Y_t) son superiores a un monto predefinido (BSY_t), la concesionaria debe pagar al gobierno por concepto de coparticipación de ingresos un valor β . El valor de β se determina al momento de la licitación. De esta forma, si se cumple la siguiente relación:

$$Y_t > BSY_t$$

⁶⁷ Esto ha sido planteado por Merton (1974), Merton (1978) y Mason y Merton (1985). El Trabajo 2 desarrolla ampliamente el concepto.

El monto a pagar por la concesionaria, por concepto de coparticipación de ingresos con el Estado, estará dado por la siguiente expresión:

$$PCY_t = \beta \times (Y_t - BSY_t)$$

Donde $\beta\%$ es el porcentaje de coparticipación de ingresos con el Estado

En otras palabras el gobierno está comprando una opción call sobre los ingresos, la cual tiene la expresión $\text{Max}(Y - BSY, 0)$.

Resultados del Proceso

El plazo máximo para el desarrollo de la Subfase I fue de 150 días corridos y su inicio empezó el 15 de Julio de 2005 y terminó el 12 de Diciembre 2005. La aprobación para continuar a la Subfase II fue el 1 de Marzo 2006. El gobierno no ejerció la opción de salida para esta Subfase. Consecuentemente el 1 de Marzo de 2006, se inició la Subfase II y tuvo una duración de 5 meses más sus respectivas aprobaciones.

En el mes de agosto del año 2006 la concesionaria expresa que de acuerdo a las conclusiones técnicas, contenidas en el Informe de la Subfase II, “es conveniente” continuar con las actividades de la Subfase III. En esa fecha, el costo total de la obra informado por la concesionaria ascendió a 910 millones de dólares, cifra que sobrepasa en 300 millones el máximo que estaba dispuesto a financiar y garantizar el gobierno.

Frente a estos resultados el gobierno ha decidido ejercer la opción de salida por considerarse inconveniente para el interés fiscal, el valor de costos de inversión que ha proporcionado la concesionaria. Por lo tanto no se activan las opciones de la Subfase III ni las opciones reales que se definieron para las fases de construcción y explotación y que fueron anteriormente expuestas.

A la fecha [septiembre 2008], el gobierno se encuentra realizando un proceso de licitación de concesión para la modernización de la conectividad de la Isla a través de la modernización de los transbordadores abandonando la idea de construir el puente sobre el canal de Chacao.