



Maestría en Economía
Facultad de Ciencias Económicas
Universidad Nacional de La Plata

TESIS DE MAESTRIA

ALUMNO
Federico Christmann

TITULO
¿Es Siempre PPP la Mejor Opción? PPP vs. Otras Formas Contractuales en
Proyectos de Infraestructura

DIRECTOR
Walter Cont y Joaquín Coleff (codirector)

FECHA DE DEFENSA
5/10/2019

¿Es Siempre *PPP* la Mejor Opción? *PPP* vs. Otras Formas Contractuales en Proyectos de Infraestructura.

Federico Christmann*

UNLP

Febrero 2019

Resumen

Este trabajo evalúa la conveniencia de unir la construcción y operación de un proyecto de infraestructura en una sola firma (*bundling*) respecto a disociar ambas tareas en dos empresas (*unbundling*) bajo distintos contextos, en términos de incentivos contractuales a la calidad y valor esperado del servicio. En un modelo principal-agente, con un contratista *multitask* y averso al riesgo que realiza esfuerzos no observables por el gobierno, se encuentran mejores niveles de calidad y bienestar respecto a *bundling* bajo un contrato que incentiva la calidad en la construcción del proyecto separada de la operación, si los niveles de riesgo del servicio son suficientemente bajos. Esto se debe a un *trade off* más favorable entre incentivos contractuales y pago de *risk premium* del gobierno. Además, dado un aumento en los retornos de la calidad del proyecto, dicho contrato *unbundling* domina a *bundling* para mayores niveles de riesgo, pero el efecto puede ser contrario para incrementos considerablemente altos en los retornos, debido a un excesivo *risk premium*.

Clasificación JEL: D86, L33, L51.

Palabras Clave: Infraestructura, *PPP*, Contratos, Incentivos, *Bundling*.

*Universidad Nacional de La Plata - Departamento de Economía (Oficina 316), Calle 6 entre 47 y 48, La Plata, Argentina. E-mail: federicochristmann@gmail.com. Se agradece especialmente a Joaquín Coleff y Walter Cont por la dirección de este trabajo, como también a la UNLP por la ayuda financiera.

I. Introducción

En las últimas décadas, se ha producido una tendencia mundial en la adjudicación de proyectos de infraestructura de los gobiernos, a favor de las participaciones público-privadas (*PPP*). Esta modalidad se caracteriza por el ofrecimiento por parte del estado de un contrato de explotación de servicios a un concesionario, quien es responsable del diseño, la construcción, y la administración del proyecto. Dicho contratista, generalmente compuesto por un consorcio de firmas, realiza las tareas mencionadas obteniendo del estado, y a veces de los usuarios, un flujo de pagos futuros.

Los acuerdos *PPP* se distinguen en varios aspectos respecto al *procurement* tradicional de servicios públicos. En este último tipo de contrato, el gobierno realiza un acuerdo de inversión en infraestructura con una empresa privada, para luego otorgar la operación del servicio a otra firma (u organismo) estatal en forma separada. En cambio, bajo *PPP* el financiamiento, el desarrollo, la operación y el mantenimiento están unidos bajo un consorcio de empresas privadas, cada una dedicada a una tarea específica. Por otro lado, esta forma contractual genera una transferencia mayor de riesgos hacia las firmas respecto al *procurement* tradicional. El gobierno especifica las metas de inversión y desempeño del servicio, pero deja a criterio del consorcio cómo lograrlas. Otra diferencia fundamental es el horizonte temporal de largo plazo del contrato *PPP*, el cual dura entre 20 y 35 años. En este tiempo, el consorcio recibe un flujo de fondos establecido *ex-ante*, formado sólo por recursos del estado (variante llamada *PFI*), y en algunos casos tarifas a los usuarios¹.

La provisión *PPP* es ampliamente utilizada en proyectos viales, energéticos y de transporte, como también se emplea para el establecimiento de escuelas, puertos y hospitales. Recientemente, se han visto casos de construcción de prisiones, espacios comunes, y tratamiento de residuos bajo esta modalidad. La Unión Europea fue la impulsora mundial de la *PPP*, invirtiendo entre 1993-2018, 336 mil millones de euros en 1749 proyectos vinculados principalmente al transporte. De hecho, un tercio de la inversión del año 2016 (pre *Brexit*) en los países miembros se destinó a este tipo de acuerdos, superando al gasto en salud y educación². Particularmente, el Reino Unido posee entre obras viales, escuelas, y hospitales más de 700 proyectos valuados en 60 mil millones de libras (1,7% de su PIB), lo cual representa el 53% de la inversión europea en *PPP*. Sin embargo, este modelo muestra signos de agotamiento, ya que el

¹IMF (2004), OECD (2011).

²European Court of Auditors (2018).

gobierno británico detectó costos de estos servicios hasta un 40 % superiores respecto a la provisión pública³. Por otro lado, en España y Grecia se están estatizando autopistas construidas bajo proyectos *PPP* en bancarrota. Esto genera a los gobiernos 1500 millones de euros en gastos contingentes para el año 2018, siendo el 30 % financiado por la Unión Europea. Puntualmente en Grecia, el costo por kilómetro de autovía aumentó 69 % respecto al acuerdo original, y se redujo la extensión de las mismas un 55 %⁴⁵.

La literatura ha planteado diversas explicaciones acerca del desempeño mixto de este tipo de contrato. Por un lado, la *PPP* es atractiva para gobiernos con restricciones de gasto, debido a que permite en el presente una mayor inversión en infraestructura con capitales privados, bajo la promesa del pago de un flujo de fondos en función del riesgo asumido⁶. No obstante, el gobierno genera gastos *off-balance sheet*, dado que el costo esperado del proyecto no se contabiliza en el presupuesto público. Esto es sumamente peligroso en países con instituciones débiles, por sus efectos adversos sobre la deuda pública⁷. Además, el estado tiene incentivos políticos de firmar contratos cuyos costos deben ser erogados por gobiernos futuros, lo que propicia el *hold-up* en la inversión⁸. Otro problema usual, es la propensión de los acuerdos *PPP* a la renegociación contractual⁹. Asimismo, estos contratos no se aconsejan en servicios con objetivos complejos y difíciles de medir, así tampoco en rubros tecnológicamente dinámicos (por ejemplo, telefonía móvil, internet de alta velocidad, etc.)¹⁰.

Por otra parte, se han estudiado los efectos de la delegación del desarrollo del proyecto y su explotación bajo un consorcio. Este atributo puede favorecer la innovación en tecnologías de construcción y gestión, a modo de agregar valor e incrementar los

³National Audit Office (2018).

⁴European Court of Auditors (2018).

⁵En cambio para América Latina, dado el déficit en infraestructura y las restricciones sobre el gasto público, la *PPP* surge como alternativa para elevar la inversión. Entre 2006 y 2015 se acordaron cerca de mil proyectos, que implicaron el 76 % de la inversión privada y el 1 % del PIB regional. Los servicios se centran en transporte y energía, siendo quienes reciben mayores inversiones Brasil (65 %), México (11 %) y Colombia (7 %) (IADB (2017)). En Argentina, se da impulso a dicha modalidad mediante el Plan Vial Federal en 2018, que implica inversiones por 17 mil millones de dólares para la construcción y mantenimiento de 7 mil kilómetros de autopistas y rutas (Ministerio de Transporte (2018)).

⁶Engel, Fischer y Galetovic (2013).

⁷Engel, Fischer y Galetovic (2006).

⁸Aubert y Laffont (2004).

⁹Existen incentivos a cambiar los términos del acuerdo a poco tiempo de su firma, bajo nuevas condiciones favorables al concesionario. De esta forma, se genera una selección adversa de licitantes con ventajas comparativas en *lobby*, se debilitan *ex-ante* los esfuerzos en el diseño contractual, y crece el *moral hazard* en la adopción de mejoras del servicio. Ver Guasch, Laffont y Straub (2007), (2008).

¹⁰Iossa y Martimort (2012).

beneficios del contratista¹¹. A su vez, los incentivos a reducir costos durante el ciclo de vida del proyecto, favorecen al mantenimiento continuo de las instalaciones, a diferencia del cuidado esporádico típico del *procurement* tradicional. Adicionalmente, la *PPP* suele acortar los plazos de construcción, como también evita financiar elefantes blancos¹².

Más aún, una característica fundamental de los contratos *PPP*, es la mejora en la calidad de la infraestructura del proyecto. Al unificarse la construcción con la gestión operativa, el consorcio tiene incentivos a elevar la calidad en el diseño y la construcción, a fines de minimizar los costos futuros de administrar el servicio. Esto contrasta con el *procurement* tradicional en donde el constructor no forma parte de la operación del proyecto, y por ende carece de incentivos en aumentar la calidad de la infraestructura más allá de lo pactado, al no participar de sus beneficios. Naturalmente, estas apreciaciones ganan relevancia frente a las asimetrías informativas entre el gobierno y el contratista, que permiten al segundo realizar acciones ocultas que perjudican al valor del proyecto.

El objetivo de este trabajo, es analizar el modo en que distintos contratos buscan resolver los costos de agencia que afectan a la provisión de infraestructura, en presencia de economías de alcance informativas entre las etapas del proyecto. De esta manera, se busca comprender bajo qué situaciones, cada forma contractual otorga los mejores incentivos al contratista para llevar adelante un proyecto. Esto se hace en el marco de un modelo de principal-agente, con un agente *multitask* y averso al riesgo que elige niveles de esfuerzo ocultos para el principal (*moral hazard*).

En particular, un gobierno firma un contrato con un privado para la provisión de un servicio que requiere ser construido y operado. Notar que puede existir un consorcio encargado de ambas tareas (*PPP*), o dos firmas por separado (*procurement* tradicional). A su vez, el consorcio o las empresas deben realizar una determinada inversión en calidad durante la construcción y la operación del proyecto, siendo ambas no observables por el estado. En esta situación, se comparan los niveles de inversión y bienestar logrados bajo un contrato del gobierno con incentivos en reducción de costos sobre un operador independiente, y un acuerdo similar asociado a un consorcio encargado de las dos tareas mencionadas. Del análisis se desprende que *PPP* es deseable a un arreglo tradicional, en términos de valor esperado del proyecto. También, se aprecia que los niveles de riesgo asumidos por el correspondiente contratista son mayores bajo el primer contrato, lo que determina una calidad de las instalaciones y un funcionamiento del servicio superiores.

¹¹Hoppe y Schmitz (2013).

¹²Engel, Fischer y Galetovic (2014).

Sin embargo, el principal aporte de esta investigación, es el análisis que surge de comparar un contrato sobre costos operativos dirigido a un consorcio, y un acuerdo que divide la construcción y la operación del proyecto bajo dos firmas, pero incentiva al constructor a invertir en calidad de infraestructura mediante un pago vinculado a los costos de operación del servicio. Profundizando el estudio realizado bajo los mismos supuestos por Iossa y Martimort (2015), se encuentra que el segundo contrato logra un mayor valor esperado del servicio respecto al primero, siempre que el nivel de riesgo del proyecto sea suficientemente bajo. De este modo, la nueva forma contractual supone una alternativa válida en servicios provistos bajo *PPP* que hoy son cuestionados, siempre que los proyectos dispongan de metas precisas y cuantificables, en un contexto coyuntural e institucional estable.

La explicación asociada al mejor desempeño del reciente contrato para un nivel de riesgo menor, está fundada en la posibilidad del gobierno de emplear en cada etapa del proyecto un instrumento para incentivar la inversión en calidad. De esta manera, se otorga un pago vinculado a los costos operativos tanto al constructor como al operador del servicio, a diferencia del acuerdo *PPP*, el cual establece solamente un pago creciente en la reducción de costos a un consorcio de firmas. Esta disociación en las transferencias de riesgos sobre cada uno de los agentes, permite una asignación más eficiente de los mismos que redundará en mejores niveles de inversión en calidad, siempre que el riesgo del proyecto sea moderado. No obstante, notar que el uso de dos incentivos a su vez conlleva el pago de un *risk premium* a cada responsable del proyecto. Entonces, al crecer los niveles de incertidumbre, la carga del gobierno de pagar un seguro a cada firma crece considerablemente, al punto que es pertinente establecer una sola transferencia relacionada con los costos para un consorcio de empresas.

Por otra parte, el presente trabajo estudia las consecuencias de incrementos en los beneficios de la inversión en calidad de la infraestructura, los cuales pueden efectuarse por medio de la incorporación de nuevos procesos de construcción, automatización de la gestión de recursos, adopción de nuevos materiales, entre otros. Del análisis se observa que aumentos en los retornos de dicha inversión, producen un incremento en los niveles de riesgo del proyecto tales que el contrato sobre costos operativos con incentivos en la calidad de infraestructura, es preferido a un acuerdo *PPP*. Esto sucede ya que las ganancias crecientes del esfuerzo en calidad del servicio, exacerban la importancia de un *trade off* más fuerte entre incentivos y *risk premium* del nuevo contrato en relación al acuerdo sobre un consorcio de firmas, para niveles bajos de riesgo. No obstante, si se producen subas considerablemente altas en los efectos de la inversión en calidad de

la construcción sobre el valor del proyecto, puede suceder un efecto opuesto al anterior, disminuyendo los niveles de riesgo tales que el acuerdo con incentivos en calidad sobre ambas etapas domina al contrato *PPP*. La explicación de este resultado se asocia al pago de un seguro excesivo al constructor ligado al elevado riesgo que soporta, el cual compensa los mayores beneficios sociales generados por este contrato en el margen.

Esta investigación pertenece a una floreciente literatura que discute las implicancias de la unión de tareas bajo un sólo agente, en un contexto de economías de alcance en su realización conjunta. Hart (2003) propone un modelo donde es deseable la provisión de un servicio bajo una sola firma, siendo factible sólo un contrato sobre la calidad de la infraestructura. Un constructor puede realizar una inversión productiva e improductiva que reducen costos, pero solamente la primera aumenta los beneficios del proyecto. Entonces bajo *PPP*, la empresa internaliza el impacto de su esfuerzo y la inversión productiva es alta, mientras que en el *procurement* tradicional sucede lo contrario. King y Pitchford (2001) también discuten la unión de actividades en una firma, y consideran la posibilidad de *spillovers* sobre el valor de otros proyectos. Por otro lado, Bennett y Iossa (2006) estudian la conveniencia de fusionar las etapas del proyecto y ofrecer la propiedad del mismo al inversor, de manera que pueda decidir cuándo implementar las mejoras. De esta forma, se minimiza el *hold-up* en las innovaciones en relación al contrato tradicional si la externalidad de la construcción en la operación es positiva, y viceversa si es negativa. Bajo un esquema similar, Chen y Chiu (2010) hallan contraintuitivamente que la complementariedad entre actividades, favorece la separación de tareas frente a limitaciones en la capacidad de establecer acuerdos sobre el desempeño del servicio.

Tomando un escenario de *moral hazard*, Martimort y Pouyet (2008) elaboran un modelo donde el costo de agencia debido al *trade off* entre incentivos y seguro, es menor bajo *PPP* si existe un *spillover* positivo de la infraestructura sobre el funcionamiento del proyecto. En este sentido, Iossa y Martimort (2012) consideran a un agente *multitask* bajo un contexto dinámico, cuyos resultados del esfuerzo son inciertos *ex-ante*, y la información es revelada durante la actividad. Las asimetrías informativas entre el gobierno y el contratista, sumadas al riesgo moral y la posibilidad de renegociación contractual, generan deseconomías de alcance que pueden conducir a la separación de tareas. Por último, Iossa y Martimort (2015) proponen un contrato sobre dos agentes, con incentivos a la inversión en calidad de infraestructura y al esfuerzo en administrar el servicio. Sin embargo, a diferencia de la presente investigación, los autores únicamente mencionan esta posibilidad contractual, sin analizar sus características respecto a un

acuerdo *PPP*.

El resto del trabajo se organiza del siguiente modo. En la Sección II se describe el modelo a desarrollar, mientras que la Sección III define el contrato de *first best*. La Sección IV analiza en profundidad los distintos tipos de contratos considerados, para luego en la Sección V comparar detalladamente un acuerdo *PPP*, y un contrato con incentivos en eficiencia sobre el constructor y el operador del proyecto. En la Sección VI se plantea un ejercicio numérico que sintetiza los aportes de la investigación, y la Sección VII concluye. Las pruebas se relegan al Apéndice.

II. El Modelo¹³

Un gobierno G adjudica a un contratista privado (que es un consorcio de empresas o dos firmas separadas) la provisión de un servicio a la sociedad. Ejemplos de este tipo de vínculo contractual pueden observarse en la creación de rutas y autopistas, construcción de escuelas y hospitales, transporte público, recolección de residuos, etc. El ofrecimiento a los usuarios del servicio brindado por la firma requiere de dos tareas: la primera involucra el diseño y la construcción de la infraestructura necesaria para su provisión; la segunda abarca la operación, administración, y mantenimiento del proyecto.

Beneficios. Los beneficios se ven afectados por la calidad de la infraestructura del proyecto, y la eficiencia en la gestión durante la fase operativa¹⁴, siendo ambas elegidas por la empresa. A fines prácticos, suponemos nulo al efecto del esfuerzo en eficiencia operativa sobre los beneficios de la actividad, como tampoco consideramos la incertidumbre respecto a la magnitud de dichos beneficios¹⁵.

En base a lo argumentado, el servicio brindado por la firma genera un beneficio a los usuarios representado por

$$B = b_0 + b a, \tag{1}$$

¹³Basado en Iossa y Martimort (2015).

¹⁴Por ejemplo, los beneficios generados por una autovía dependen del número de carriles construidos, la rugosidad del asfalto, la señalización y la iluminación; también del mantenimiento de la calzada, y la gestión de alertas de tránsito en caso de accidentes viales o desperfectos del pavimento.

¹⁵Sin embargo, por más que haya predicciones confiables de los beneficios del servicio, el amplio horizonte temporal del contrato (entre 20 y 35 años) genera incertidumbre sobre los niveles de demanda. Entre los *shocks* típicos de demanda se pueden mencionar la competencia de servicios sustitutos, cambios en las preferencias de los usuarios (National Audit Office (2018)), y crisis macroeconómicas (Guasch, Laffont y Straub (2007), (2008)).

siendo $b_0 \geq 0$ el beneficio base del proyecto, determinado por la tecnología. Además, a indica el esfuerzo en calidad de infraestructura, y $b \geq 0$ el beneficio marginal asociado a dicho esfuerzo.

Suponemos adicionalmente que el agente no cobra ningún cargo específico a los consumidores por la prestación del servicio¹⁶.

Costos. Al igual que los beneficios, los costos de operación del servicio son afectados por la calidad de la infraestructura¹⁷, y la eficiencia en la administración del proyecto. Adicionalmente los costos operativos son estocásticos, debido a potenciales *shocks* de precios de los insumos, contingencias en el mantenimiento de la infraestructura, y crisis macroeconómicas¹⁸.

Considerando lo anterior, la función de costos viene dada por

$$C = \theta_0 - e - \delta a + \epsilon, \quad (2)$$

siendo $\theta_0 \geq 0$ el costo operativo del servicio definido por la tecnología. Notar que la expresión incorpora al esfuerzo de la firma en calidad operativa, representado por e . Además, observar que el ahorro de costos operativos dado un aumento de e es proporcional. Por otro lado, a indica la inversión en calidad de infraestructura, vinculada a una reducción marginal de costos $\delta \geq 0$. Finalmente, llamamos $\epsilon \sim N(0, \sigma_\epsilon^2)$ a una variable aleatoria normalmente distribuida con media cero y varianza σ_ϵ^2 , que captura el riesgo operativo.

Por simplicidad, el modelo no considera los gastos básicos en infraestructura¹⁹, y el costo de oportunidad del proyecto es nulo. Convenientemente, los beneficios del servicio superan los costos esperados, es decir $B - E_\epsilon(C) > 0$, con $E_\epsilon(C) = \theta_0 - e - \delta a > 0$.

Esfuerzos. Suponemos que los costos del esfuerzo de la empresa en calidad de infraestructura y gestión del servicio están representados por las funciones cuadráticas

¹⁶Como consecuencia, el modelo no considera el análisis de los precios óptimos que pueden cobrarse a los usuarios. Esto último es relevante en servicios de transporte de pasajeros, y proyectos viales que contemplan el cobro de peaje, entre otros.

¹⁷Por ejemplo, una mayor calidad de las vías en un proyecto ferroviario, reduce el costo de mantenimiento de los vagones. Descartamos la posibilidad de un efecto negativo de la calidad de infraestructura sobre los costos operativos: tomando el ejemplo anterior, la implementación de trenes eléctricos lleva a un mayor costo de mantenimiento del servicio.

¹⁸La volatilidad en precios de commodities energéticos, las restricciones a las importaciones de insumos, las crisis cambiarias, y los *shocks* inflacionarios, suelen afectar a los costos operativos del proyecto, especialmente en países en desarrollo. Ver Reside (2009).

¹⁹En un proyecto de recolección de residuos, por ejemplo, la inversión mínima en infraestructura abarca la compra de camiones adaptados a dicha tarea, la adquisición de un predio y su adecuación para el tratamiento de residuos, el establecimiento de *containers* en la ciudad concesionada, etc.

$\frac{a^2}{2}$ y $\frac{e^2}{2}$, respectivamente. Notar que no existen economías de alcance entre ambos costos²⁰, por lo que la unión de la construcción y la operación del proyecto bajo una firma tiene sentido si el riesgo moral en los esfuerzos genera una externalidad entre ambas tareas, siendo a y e no verificables por el gobierno.

Estructuras organizacionales. Hasta ahora consideramos un esquema *bundling* de provisión del servicio, donde el desarrollo de la infraestructura y la operación del proyecto son llevados a cabo por una única firma. Adicionalmente, vamos a tener en cuenta un esquema *unbundling* de ofrecimiento del servicio, donde la inversión en infraestructura y la gestión operativa se realiza en forma separada por dos empresas no vinculadas entre sí. Salvo aclaración, tomamos a *bundling* como escenario base.

Contratos. Vamos a considerar dos escenarios contractuales para nuestro análisis:

- (a) *Contrato sobre costos.* Suponemos que los costos C del agente que opera el servicio son observables y verificables, y que el gobierno realiza sobre ellos un arreglo contractual. Entonces en *unbundling*, G ofrece al operador una transferencia $t(C) = \alpha + (1 - \beta)C$, y el constructor recibe t_{blt} fijo. Bajo *bundling*, el consorcio obtiene conjuntamente el pago $t(C)$. En este contexto, si $\beta = 0$ el esquema contractual es *cost-plus*, y el principal cubre todos los costos operativos del proyecto. Al contrario, si $\beta = 1$ el contrato pasa a ser *price-cap*, y el agente recibe un pago fijo ajustado a la realización de costos.
- (b) *Contrato sobre costos con incentivos en infraestructura.* Tomemos nuevamente que los costos C son observables y verificables. Pero ahora, G elabora un contrato sobre costos operativos con el oferente del servicio y el constructor de la infraestructura. Por lo tanto, el gobierno realiza una transferencia $t(C) = \alpha + (1 - \beta)C$ al operador, y adiciona el pago $t_{blt}(C) = \alpha_{blt} - \beta_{blt}C$ para el constructor. Esta forma contractual no supone cambios respecto al contrato anterior si existe *bundling*, pero en *unbundling* asocia el pago del encargado de la infraestructura a los costos operativos²¹.

²⁰Pueden suponerse costos del esfuerzo con economías de alcance $\frac{a^2}{2} + \frac{e^2}{2} - h(a, e)$, siendo $h(\cdot) \subset \mathbb{R}_{\geq 0}$ una función indicativa de la reducción de dichos costos surgida al realizar ambos esfuerzos conjuntamente. Obviamos este caso en el modelo para centrar el análisis en los costos de agencia.

²¹Observar que los casos anteriores no representan una lista exhaustiva de posibilidades contractuales. A modo de ejemplo, se pueden considerar contratos sobre ingresos $t(B) = \alpha - (1 - \tau)B$, o bien contratos sobre beneficios $t(\Pi) = \alpha - (1 - \beta)\Pi$, con $\Pi = B - C$. Para más detalle, ver Iossa y Martimort (2015).

Objetivos. El gobierno es neutral al riesgo²², y maximiza el excedente de los consumidores neto de la transferencia t otorgada al contratista. Por otro lado, el agente es averso al riesgo, con una aversión absoluta al riesgo constante $r > 0$ ²³. Esto último implica que el proyecto compromete gran parte del capital de la firma, es decir, la empresa no se encuentra diversificada en sus actividades. Respecto a los pagos del agente, bajo *bundling* el consorcio debe afrontar los costos C , y recibe t por parte del gobierno. Entonces, el pago de la firma es $-C + t - \frac{a^2}{2} - \frac{e^2}{2}$. En cambio, en *unbundling* el constructor recibe $t - \frac{a^2}{2}$, mientras que el operador obtiene $-C + t - \frac{e^2}{2}$.

En base a las consideraciones anteriores, existe un conflicto de intereses entre el gobierno y el contratista, ya que el primero busca optimizar la calidad del servicio, mientras que el segundo desea minimizar esfuerzos dentro del marco contractual para aumentar su beneficio. Esta situación se cataloga como un problema de principal-agente, con un contratista *multitask* que elige niveles de calidad de infraestructura y esfuerzo operativo ocultos (*moral hazard*)²⁴²⁵.

III. *Benchmark*: el caso del *first best*

Supongamos que tanto el esfuerzo en calidad de infraestructura (a), como el esfuerzo operativo (e) de la firma, son directamente observables y verificables por el gobierno. En este contexto, el principal no necesita utilizar a los costos operativos como instrumento para inducir esfuerzo en el contratista y aumentar el excedente total: G realiza un contrato directo sobre a y e para alcanzar los niveles de esfuerzo de *first best*, y lograr el máximo bienestar.

Dicho lo anterior, el gobierno ofrece un seguro completo a la firma, por lo que el pago que recibe esta última es independiente del valor de C . Además, al diseñar el arreglo contractual antes de adjudicar el proyecto, el principal tiene *ex-ante* todo el poder de negociación, y decide otorgar una retribución al contratista tal que lo deje

²²Esto implica que en ausencia de asimetrías informativas, la asignación óptima de riesgos requiere que G asuma todo el riesgo del proyecto. Notar que este supuesto no es propicio para el caso de pequeños gobiernos subnacionales, cuyos proyectos representan una parte significativa de sus presupuestos. Ver Lewis y Sappington (1995), Martimort y Sand-Zantman (2006).

²³Como el contratista cumple con *CARA*, y el shock aleatorio en costos se distribuye normalmente, restringimos el análisis al caso de contratos lineales, siguiendo a Holmström y Milgrom (1991).

²⁴Holmström y Milgrom (1991).

²⁵Asumimos que b_0 y θ_0 son de conocimiento común, por lo que se descartan problemas de selección adversa. A favor de esto, Bajari y Tadelis (2001) observan que el licitante y el proveedor suelen tener el mismo grado de información acerca de los costos y la demanda en esta clase de proyectos.

indiferente entre aceptar el servicio o rechazarlo, obteniendo beneficios nulos. Entonces, la empresa se ve forzada en este escenario a elegir los niveles de esfuerzo óptimos que maximizan el valor esperado del proyecto:

$$(a^{FB}, e^{FB}) = \arg \max_{(a, e)} B - E_{\epsilon}(C) - \frac{a^2}{2} - \frac{e^2}{2} \equiv b_0 - \theta_0 + (b + \delta)a + e - \frac{a^2}{2} - \frac{e^2}{2},$$

o bien,

$$(a^{FB}, e^{FB}) = (b + \delta, 1). \quad (3)$$

Puede verse que el esfuerzo de *first best* en calidad de infraestructura de la firma a^{FB} , es igual a la suma del incremento marginal en el valor social del servicio (b) y la reducción en el margen de los costos operativos (δ): es decir que en el óptimo, el costo marginal de a para el contratista es igual al valor marginal social de dicho esfuerzo. De forma análoga, se aprecia que el esfuerzo de *first best* en la operación del servicio e^{FB} compensa la caída en el margen de los costos, con la desutilidad marginal generada en el agente (e).

Por último, el bienestar esperado en ausencia de acciones ocultas por parte del contratista es

$$W^{FB} = b_0 - \theta_0 + \frac{(b + \delta)^2}{2} + \frac{1}{2}. \quad (4)$$

En lo que sigue del trabajo, utilizamos este caso para establecer consideraciones de optimalidad sobre los distintos contratos a desarrollar.

IV. *Bundling* y *unbundling* bajo distintos escenarios contractuales

En esta sección, se analizan las implicancias en términos de niveles de esfuerzo del agente y bienestar de los esquemas organizacionales *bundling* y *unbundling*, tanto en un contrato sobre costos, como en un contrato sobre costos con incentivos a la calidad de infraestructura. Dado que los contratos *PPP* unen la construcción del proyecto y su gestión mediante un consorcio, caracterizamos a esta forma contractual como *bundling*. Del mismo modo, denominamos *unbundling* a los esquemas de *procurement* tradicional

donde G adquiere la infraestructura de una firma, y luego selecciona a otro operador²⁶.

IV.I. Contrato sobre costos

IV.I.1. *Unbundling*

Bajo este escenario contractual, el gobierno le ofrece al operador del proyecto la transferencia $t(C) = \alpha + (1 - \beta)C$, mientras que el constructor recibe un pago fijo t_{blt} . Esta última retribución no está ligada al esfuerzo en calidad de infraestructura realizado por el constructor, por lo que a es nulo:

$$a = \arg \max_{\tilde{a}} t_{blt} - \frac{\tilde{a}^2}{2} = 0. \quad (5)$$

Por otro lado, el operador maximiza el equivalente de certeza de su beneficio esperado, condicional al esfuerzo nulo por parte del constructor. Entonces, la restricción de compatibilidad de incentivos (RCI) dado el contrato en costos operativos fijado por G , es

$$e = \arg \max_{\tilde{e}} \alpha - \beta E_\epsilon(C) - \frac{\tilde{e}^2}{2} - \frac{r\sigma_\epsilon^2\beta^2}{2} \equiv \alpha - \beta(\theta_0 - \tilde{e}) - \frac{\tilde{e}^2}{2} - \frac{r\sigma_\epsilon^2\beta^2}{2} = \beta. \quad (6)$$

La expresión (6) indica que el esfuerzo operativo en reducción de costos es igual a la participación del operador en los riesgos del proyecto β . Pero a su vez, un mayor riesgo asumido por el operador hace que el premio al riesgo $\frac{r\sigma_\epsilon^2\beta^2}{2}$ que debe soportar crezca. Esto no es más que el *trade-off* entre incentivos y seguro, que debe resolverse a la hora de realizar un acuerdo contractual en un contexto de riesgo moral.

Dado que el gobierno elabora el contrato antes del proceso de licitación, este utiliza todo el poder de negociación para ofrecer los pagos fijos t_{blt} y α que extraen todo el excedente del constructor y el operador, respectivamente. Dicho lo anterior, el pago de G equivale al valor esperado del proyecto, neto del premio al riesgo del agente:

$$W(a, e, \beta) = b_0 - \theta_0 + (b + \delta)a + e - \frac{a^2}{2} - \frac{e^2}{2} - \frac{r\sigma_\epsilon^2\beta^2}{2}. \quad (7)$$

Si se maximiza la expresión anterior respecto a las variables (a, e, β) considerando

²⁶Nuestro análisis se enfoca en la provisión de servicios por parte de empresas privadas. No obstante, puede añadirse al modelo el ofrecimiento de servicios por parte del estado, en donde un privado construye la infraestructura y el gobierno administra el emprendimiento.

las restricciones de compatibilidad de incentivos (5)-(6), obtenemos las siguientes ecuaciones que definen al esfuerzo operativo, la participación del operador en el riesgo del proyecto, y al esfuerzo en calidad de infraestructura dado un riesgo positivo ($\sigma_\epsilon^2 > 0$):

$$e_u^{SB} = \frac{1}{1 + r\sigma_\epsilon^2} = \beta_u^{SB} < 1, \quad (8)$$

$$\alpha_u^{SB} = 0. \quad (9)$$

Notar que en un contrato sobre costos bajo *unbundling*, el esfuerzo operativo de *second best* es menor que el respectivo esfuerzo de *first best* ($e^{FB} = 1$). Esto se debe a que es costoso para el gobierno generar incentivos en el operador para que tome un mayor nivel de riesgo, y en consecuencia G reduce el premio al riesgo pagado. A mayor riesgo de costos σ_ϵ^2 , el *trade-off* entre incentivos y seguro se resuelve a favor de un mecanismo menos potente²⁷.

Incorporando las soluciones ($\alpha_u^{SB}, e_u^{SB}, \beta_u^{SB}$) del problema estudiado a la función objetivo (7), obtenemos el bienestar esperado del proyecto:

$$W_u^{SB} = b_0 - \theta_0 + \frac{1}{2(1 + r\sigma_\epsilon^2)}. \quad (10)$$

Y por último, el contrato óptimo de costos en *unbundling* es

$$t(C)_u^{SB} = \alpha_u^{SB} + (1 - \beta_u^{SB})C = \frac{2\theta_0(1 + r\sigma_\epsilon^2) + r\sigma_\epsilon^2 - 1}{2(1 + r\sigma_\epsilon^2)^2} + \frac{r\sigma_\epsilon^2}{1 + r\sigma_\epsilon^2}C. \quad (11)$$

IV.I.2. *Bundling*

En este caso, un consorcio responsable de la construcción y la operación del servicio recibe una transferencia $t(C) = \alpha + (1 - \beta)C$ por parte del gobierno. Dado lo anterior, el agente debe elegir los niveles de esfuerzo operativo y en calidad de infraestructura tales que maximicen la suma de los beneficios en ambas etapas del proyecto. Luego, la *RCI* a resolver por el consorcio es

$$(e, a) = \arg \max_{(\tilde{e}, \tilde{a})} \alpha - \beta(\theta_0 - \tilde{e} - \delta \tilde{a}) - \frac{\tilde{a}^2}{2} - \frac{\tilde{e}^2}{2} - \frac{r\sigma_\epsilon^2\beta^2}{2} = (\beta, \beta\delta). \quad (12)$$

²⁷¿Qué sucede si incorporamos un precio sombra de los fondos públicos $\lambda > 0$? La expresión (7) cambia de modo tal que los beneficios sociales del proyecto son $\frac{b_0 + \lambda a}{1 + \lambda}$. Como e_u^{SB} no depende de los beneficios, los niveles de esfuerzo en *unbundling* no varían, pero el bienestar cae.

Si el efecto marginal del esfuerzo en calidad de infraestructura sobre costos operativos es positivo ($\delta > 0$), el contratista internaliza parcialmente la reducción de costos que genera dicho esfuerzo. Esto se debe a que la unión de las actividades del proyecto en una sola firma, resuelve de algún modo la externalidad generada por falta de esfuerzo en la primera etapa sobre la segunda, por medio de los costos operativos. Notar que el caso $\delta = 0$ es trivial: al no haber reducción de costos a través del esfuerzo en calidad de infraestructura, se replican los niveles de esfuerzos hallados en *unbundling*.

Nuevamente, el gobierno extrae todo el excedente de la firma a través del pago fijo α . Entonces, G maximiza la función objetivo (7) respecto a (a, e, β) , sujeto a la restricción de compatibilidad de incentivos (12). En base a esto, los esfuerzos (a, e) que se obtienen bajo *bundling* en un contrato sobre costos son:

$$e_b^{SB} = \frac{1 + \delta(b + \delta)}{1 + \delta^2 + r\sigma_\epsilon^2} = \beta_b^{SB}, \quad (13)$$

$$a_b^{SB} = \delta e_b^{SB} = \frac{\delta + \delta^2(b + \delta)}{1 + \delta^2 + r\sigma_\epsilon^2}. \quad (14)$$

Se aprecia que ambos esfuerzos de *second best*, crecen a mayor sensibilidad de los beneficios al esfuerzo en la etapa de construcción (b), o menor riesgo de costos (σ_ϵ^2). El primer efecto se debe a ganancias de bienestar marginalmente mayores al aumentar el esfuerzo a_b^{SB} , lo que lleva al gobierno a aumentar el riesgo soportado por el consocio (β_b^{SB}). También se ve que al cumplirse $e_b^{SB} = \beta_b^{SB}$, hay un efecto indirecto del aumento del riesgo sobre el nivel de esfuerzo operativo de *second best*. Por otro lado, notar que a_b^{SB} es creciente dado un aumento del efecto del esfuerzo a sobre costos operativos (δ):

$$\frac{\partial a_b^{SB}}{\partial \delta} = \frac{\delta^4 + \delta^2 r\sigma_\epsilon^2 + (1 + 2\delta(b + \delta))(1 + r\sigma_\epsilon^2)}{(1 + \delta^2 + r\sigma_\epsilon^2)^2} > 0 \quad \forall \delta, b, r\sigma_\epsilon^2 > 0. \quad (15)$$

Sin embargo, el esfuerzo e_b^{SB} tiene un comportamiento no lineal frente a cambios en δ : dado $\delta^{SB} = \frac{r\sigma_\epsilon^2 + \sqrt{(r\sigma_\epsilon^2)^2 + b^2(1 + r\sigma_\epsilon^2)}}{b}$, e_b^{SB} es creciente en $\delta \quad \forall \delta \leq \delta^{SB}$, o decreciente estricto en $\delta \quad \forall \delta > \delta^{SB}$, pues²⁸

$$\begin{aligned} \frac{\partial e_b^{SB}}{\partial \delta} = \frac{\partial \beta_b^{SB}}{\partial \delta} &= \frac{b(1 - \delta^2) + (2\delta + b)r\sigma_\epsilon^2}{(1 + \delta^2 + r\sigma_\epsilon^2)^2} \geq 0 \quad \forall \delta \leq \delta^{SB}, b, r\sigma_\epsilon^2 > 0, \\ &< 0 \quad \forall \delta > \delta^{SB}, b, r\sigma_\epsilon^2 > 0. \end{aligned} \quad (16)$$

²⁸Para que e_b^{SB} disminuya dado un aumento en δ es necesario además que, siendo $\xi > 0$ arbitrario, $E_\epsilon(C_b^{SB}) = \theta_0 - e_b^{SB}(\delta^{SB} + \xi) - (\delta^{SB} + \xi) a_b^{SB}(\delta^{SB} + \xi) > 0$, *ceteris paribus*.

Es importante destacar que a diferencia del caso *unbundling*, la condición $e_b^{SB} \leq 1$ se cumple sí y sólo si $\delta b \leq r\sigma_\epsilon^2$: es decir, la interacción entre los efectos marginales del esfuerzo en infraestructura es menor o igual al riesgo de costos. En cambio, el esfuerzo operativo e_b^{SB} está por encima del respectivo esfuerzo de *first best*, sí y sólo si se verifica un nivel de riesgo de costos suficientemente bajo: $\delta b > r\sigma_\epsilon^2$.

En base a lo anterior, puede comprobarse fácilmente que $\delta^{SB} b > r\sigma_\epsilon^2$, y en consecuencia $e_b^{SB}(\delta^{SB}) > 1 \forall b, r\sigma_\epsilon^2 > 0$. Esto implica que si $\delta \leq \delta^{SB}$, el esfuerzo operativo e_b^{SB} crece por sobre su valor de *first best* para aumentos en δ , lo cual no es deseable. Entonces el contrato *bundling* permite que el nivel de riesgo soportado por el consorcio (β_b^{SB}) disminuya, lo que hace decrecer a e_b^{SB} frente a incrementos de δ para $\delta > \delta^{SB}$, a fines de que dicho esfuerzo vuelva a acercarse a e^{FB} . A su vez, $a_b^{SB} = \delta e_b^{SB}$ continúa aumentando a mayor δ , debido a que la variación de este efecto marginal tiene mayor orden de magnitud que la caída en el esfuerzo operativo e_b^{SB} ²⁹.

Por último, el bienestar esperado en *bundling* bajo un contrato sobre costos es

$$W_b^{SB} = b_0 - \theta_0 + \frac{(1 + \delta(b + \delta))^2}{2(1 + \delta^2 + r\sigma_\epsilon^2)}, \quad (17)$$

mientras que el contrato de *second best* correspondiente, se escribe³⁰

$$t(C)_b^{SB} = \frac{(1 + \delta(b + \delta)) [2\theta_0(1 + \delta^2 + r\sigma_\epsilon^2) + (1 + \delta(b + \delta)) (-1 - \delta^2 + r\sigma_\epsilon^2)]}{2(1 + \delta^2 + r\sigma_\epsilon^2)^2} + \frac{r\sigma_\epsilon^2 - \delta b}{1 + \delta^2 + r\sigma_\epsilon^2} C. \quad (18)$$

IV.I.3. *Unbundling* vs. *bundling*

Considerando los niveles de bienestar esperado del servicio representados por las ecuaciones (10) y (17), un esquema organizacional *bundling* es estrictamente preferido a un esquema *unbundling* bajo un contrato sobre costos operativos, si la externalidad

²⁹Observar que en *bundling*, el precio sombra de los fondos públicos λ no sólo reduce el valor esperado del proyecto, sino también disminuye los esfuerzos de *second best*, ya que dependen de los beneficios sociales del servicio. Estos son $e_b^{SB} = \frac{1 + \delta(\frac{b}{1+\lambda} + \delta)}{1 + \delta^2 + r\sigma_\epsilon^2}$, y $a_b^{SB} = \frac{\delta + \delta^2(\frac{b}{1+\lambda} + \delta)}{1 + \delta^2 + r\sigma_\epsilon^2}$.

³⁰Si $\delta = 0$, se deduce fácilmente que $W_b^{SB} = W_u^{SB}$ y $t(C)_b^{SB} = t(C)_u^{SB}$.

de la calidad en infraestructura sobre dichos costos es positiva:

$$W_b^{SB} - W_u^{SB} = \frac{\delta [\delta r\sigma_\epsilon^2 + (2b + \delta (1 + (b + \delta)^2)) (1 + r\sigma_\epsilon^2)]}{2(1 + r\sigma_\epsilon^2)(1 + \delta^2 + r\sigma_\epsilon^2)} > 0$$

$$\forall \delta > 0, b, r\sigma_\epsilon^2 \geq 0. \quad (19)$$

Por el contrario, el valor esperado del proyecto neto del *risk premium* es igual en ambos esquemas si esta externalidad sobre costos operativos es nula ($\delta = 0$), ya que ambos contratos (y niveles de esfuerzos) son idénticos.

Desarrollemos las implicancias del párrafo anterior. Bajo un esquema *PPP* de provisión de servicios y en ausencia de efectos de reducción de costos asociados a la inversión en calidad de infraestructura, el consorcio de firmas no realiza esfuerzos durante la construcción del proyecto ya que no influyen sobre su costo de operación. En este escenario, *PPP* no presenta ventajas en términos de incentivos a la calidad del servicio respecto del *procurement* tradicional, puesto que no hay conflicto de intereses entre el constructor y el operador del proyecto. Es por esto que el bienestar esperado es el mismo en ambos casos.

No obstante si hay una externalidad positiva ($\delta > 0$), el consorcio anticipa que el esfuerzo en calidad de infraestructura disminuye costos operativos, reduciendo la subinversión en la etapa de construcción. Contrario al esquema clásico, donde el constructor no considera el impacto de su tarea sobre la operación del servicio, la unión ambas actividades bajo *PPP* incorpora parte del efecto sobre costos de una baja calidad de las instalaciones. Es así que el consorcio realiza una inversión en calidad de infraestructura positiva ($a_b^{SB} > 0$), logrando un mayor bienestar que bajo el *procurement* tradicional. Sin embargo, la inversión en calidad de *PPP* sigue siendo socialmente subóptima: el consorcio internaliza el efecto del esfuerzo en calidad de infraestructura sobre la fracción de costos operativos que enfrenta ($\beta\delta a$), y no el efecto total de a sobre costos (δa), como tampoco considera el efecto del mismo en los beneficios sociales (ba).

Respecto de la provisión tradicional, bajo *PPP* el gobierno transfiere una mayor porción del riesgo operativo para incentivar el esfuerzo en calidad de infraestructura, siempre que tenga efectos positivos. En el modelo, el riesgo que soporta el agente en *bundling* es estrictamente mayor sí y sólo si $\delta > 0$, ya que puede verse fácilmente $\beta_b^{SB} > \beta_u^{SB}$. Por esta razón, los niveles de inversión en la calidad del proyecto son mayores en *bundling* que bajo *unbundling*³¹, a costo de un mayor *risk premium*. En línea

³¹En particular, se satisface $e_b^{SB} = \beta_b^{SB} > \beta_u^{SB} = e_u^{SB}$ y $a_b^{SB} = \delta e_b^{SB} > a_u^{SB} = 0$ sí y sólo si $\delta > 0$.

con la evidencia empírica, *PPP* suele asociarse a contratos de tipo *price cap* en donde el contratista enfrenta niveles considerables de riesgo, mientras que bajo *procurement* tradicional, *cost-plus* es lo más común.

IV.II. Contrato sobre costos con incentivos en infraestructura

Supongamos ahora que adicional al contrato ofrecido al operador, el constructor del proyecto recibe un pago asociado a la realización de los costos durante la etapa de operación. En otras palabras, al contrato sobre costos $t(C) = \alpha + (1 - \beta)C$ visto anteriormente, se incorpora otra transferencia que vincula el pago del constructor a los costos operativos $t_{blt}(C) = \alpha_{blt} - \beta_{blt}C$. Consideremos además que el responsable de la construcción es averso al riesgo, y que hereda el mismo coeficiente de aversión al riesgo constante $r > 0$ utilizado anteriormente.

Bajo un esquema organizacional *bundling*, esta nueva forma contractual no produce ningún cambio en relación al contrato sobre costos ya visto. Como el consorcio de empresas continúa recibiendo un único pago en relación a los costos de operación, este tipo de acuerdo arroja los mismos niveles de esfuerzos en calidad, riesgo del consorcio, y bienestar esperado de *second best* que el acuerdo sobre costos visto en la Sección IV.I.2.

En cambio bajo *unbundling*, el contrato sobre costos con incentivos sobre la calidad de infraestructura puede lograr que el constructor realice un esfuerzo a positivo, a diferencia del contrato sobre costos original. Específicamente, el constructor maximiza

$$a = \arg \max_{\tilde{a}} \alpha_{blt} - \beta_{blt}(\theta_0 - \tilde{e} - \delta \tilde{a}) - \frac{\tilde{a}^2}{2} - \frac{r\sigma_\epsilon^2\beta_{blt}^2}{2} = \beta_{blt}\delta, \quad (20)$$

y dado el esfuerzo en calidad de infraestructura obtenido, el operador maximiza la *RCI*

$$e = \arg \max_{\tilde{e}} \alpha - \beta(\theta_0 - \tilde{e} - \delta a) - \frac{\tilde{e}^2}{2} - \frac{r\sigma_\epsilon^2\beta^2}{2} = \beta. \quad (21)$$

El esfuerzo $a = \beta_{blt}\delta$ es positivo siempre que el mismo permita reducir costos operativos ($\delta > 0$), ya que el constructor obtiene una transferencia decreciente en la realización de los costos durante la operación del servicio. Por el contrario, si la sensibilidad de los costos al esfuerzo a es nula ($\delta = 0$), este nuevo contrato no induce esfuerzo alguno por parte del constructor, al igual que un contrato sobre costos bajo *unbundling*. Como la inversión en calidad de infraestructura no aumenta el valor esperado del proyecto, el gobierno ofrece un pago al constructor tal que no participe en los riesgos ($\beta_{blt} = 0$).

Por otro lado, el gobierno extrae la totalidad del excedente de ambos agentes mediante los pagos fijos α_{blt} y α del acuerdo contractual. En consecuencia, G maximiza su pago esperado

$$W(a, e, \beta, \beta_{blt}) = b_0 - \theta_0 + (b + \delta)a + e - \frac{a^2}{2} - \frac{e^2}{2} - \frac{r\sigma_\epsilon^2\beta^2}{2} - \frac{r\sigma_\epsilon^2\beta_{blt}^2}{2} \quad (22)$$

respecto a $(a, e, \beta, \beta_{blt})$, considerando las restricciones (20)-(21). Por consiguiente, los niveles de esfuerzos y riesgos que se obtienen de la optimización anterior son³²

$$e_u^{SBC} = \frac{1}{1 + r\sigma_\epsilon^2} = \beta_u^{SBC}, \quad (23)$$

$$\beta_{blt}^{SBC} = \frac{\delta(b + \delta)}{\delta^2 + r\sigma_\epsilon^2}, \quad (24)$$

$$a_u^{SBC} = \delta\beta_{blt}^{SBC} = \frac{\delta^2(b + \delta)}{\delta^2 + r\sigma_\epsilon^2}. \quad (25)$$

El próximo Cuadro, muestra los niveles óptimos de esfuerzos en calidad operativa y de infraestructura vistos bajo distintos tipos de contratos y formas organizacionales.

Contrato	Unbundling		Bundling	
	a_u	e_u	a_b	e_b
First best	$b + \delta$	1	$b + \delta$	1
$t(C) = \alpha + (1 - \beta)C$	0	$\frac{1}{1+r\sigma_\epsilon^2}$	$\frac{\delta+\delta^2(b+\delta)}{1+\delta^2+r\sigma_\epsilon^2}$	$\frac{1+\delta(b+\delta)}{1+\delta^2+r\sigma_\epsilon^2}$
$t_{blt}(C) = \alpha_{blt} - \beta_{blt}C$ $t(C) = \alpha + (1 - \beta)C$	$\frac{\delta^2(b+\delta)}{\delta^2+r\sigma_\epsilon^2}$	$\frac{1}{1+r\sigma_\epsilon^2}$	$\frac{\delta+\delta^2(b+\delta)}{1+\delta^2+r\sigma_\epsilon^2}$	$\frac{1+\delta(b+\delta)}{1+\delta^2+r\sigma_\epsilon^2}$

Cuadro. Niveles de esfuerzos óptimos bajo distintos escenarios contractuales.

Analizando los equilibrios de *second best* del contrato visto en la sección, puede verse que e_u^{SBC} , β_{blt}^{SBC} , y a_u^{SBC} son funciones decrecientes en el nivel de riesgo de costos ($r\sigma_\epsilon^2$). Además, los valores de β_{blt}^{SBC} y a_u^{SBC} aumentan frente a un mayor efecto del esfuerzo en calidad de infraestructura sobre los beneficios sociales (b). Por otra parte, un incremento en la sensibilidad de los costos operativos al esfuerzo del constructor (δ),

³²Apreciar que $e_u^{SBC} = \beta_u^{SBC} = \beta_u^{SB} = e_u^{SB}$, por lo que el esfuerzo en calidad operativa y el riesgo del operador bajo *unbundling* son idénticos en ambos contratos.

impacta positivamente en a_u^{SBC} :

$$\frac{\partial a_u^{SBC}}{\partial \delta} = \frac{\delta^4 + (3\delta^2 + 2\delta b)r\sigma_\epsilon^2}{(\delta^2 + r\sigma_\epsilon^2)^2} > 0 \quad \forall \delta, b, r\sigma_\epsilon^2 > 0. \quad (26)$$

Y siendo $\delta^{SBC} = \frac{r\sigma_\epsilon^2 + \sqrt{(r\sigma_\epsilon^2)^2 + b^2 r\sigma_\epsilon^2}}{b}$, el riesgo β_{blt}^{SBC} es creciente en $\delta \quad \forall \delta \leq \delta^{SBC}$, o decreciente estricto en $\delta \quad \forall \delta > \delta^{SBC}$. Esto es³³,

$$\begin{aligned} \frac{\partial \beta_{blt}^{SBC}}{\partial \delta} &= \frac{\delta^3 - \delta^2(b + \delta) + (b + 2\delta)r\sigma_\epsilon^2}{(\delta^2 + r\sigma_\epsilon^2)^2} \geq 0 \quad \forall \delta \leq \delta^{SBC}, b, r\sigma_\epsilon^2 > 0, \\ &< 0 \quad \forall \delta > \delta^{SBC}, b, r\sigma_\epsilon^2 > 0. \end{aligned} \quad (27)$$

De este modo, si existe una variación positiva sobre un valor de δ pequeño, el gobierno aumenta la participación del constructor en los riesgos del proyecto (β_{blt}) para que incremente su esfuerzo a . Pero si δ es demasiado alto ($\delta > \delta^{SBC}$), las ganancias de eficiencia del esfuerzo en calidad de infraestructura provocan una caída en el *risk premium* pagado por G , debido a su alto costo. Sin embargo, el esfuerzo $a_u^{SBC} = \delta\beta_{blt}^{SBC}$ continúa creciendo en δ , ya que este parámetro tiene mayor orden de magnitud que el riesgo β_{blt}^{SBC} ³⁴.

Remplazando los niveles esfuerzo y riesgo de *second best* en la expresión (22), se obtiene el pago esperado del gobierno bajo *unbundling*:

$$W_u^{SBC} = b_0 - \theta_0 + \frac{\delta^2(b + \delta)^2(1 + r\sigma_\epsilon^2) + \delta^2 + r\sigma_\epsilon^2}{2(\delta^2 + r\sigma_\epsilon^2)(1 + r\sigma_\epsilon^2)}. \quad (28)$$

³³Como antes, β_{blt}^{SBC} es menor frente a un aumento en δ si adicionalmente existe $\xi > 0$, tal que $E_\epsilon(C_u^{SBC}) = \theta_0 - e_u^{SBC} - (\delta^{SBC} + \xi) a_u^{SBC} (\delta^{SBC} + \xi) > 0$, *ceteris paribus*.

³⁴Notar que en este nuevo contrato, bajo *unbundling* el precio sombra de los fondos públicos λ reduce tanto al valor esperado del proyecto, como al esfuerzo en calidad de infraestructura. En particular, $a_u^{SBC} = \frac{\delta^2(\frac{b}{1+\lambda} + \delta)}{\delta^2 + r\sigma_\epsilon^2}$.

A su vez, las transferencias óptimas en el contrato analizado son³⁵

$$t(C)_{bit}^{SBC} = \frac{\delta(b + \delta) \left(2(\delta^2 + r\sigma_\epsilon^2) \left(\theta_0 - \frac{1}{1+r\sigma_\epsilon^2} \right) + \delta(b + \delta)(r\sigma_\epsilon^2 - \delta^2) \right)}{2 (\delta^2 + r\sigma_\epsilon^2)^2} - \frac{\delta(b + \delta)}{\delta^2 + r\sigma_\epsilon^2} C, \quad (29)$$

$$t(C)_u^{SBC} = t(C)_u^{SB} = \frac{2\theta_0(1 + r\sigma_\epsilon^2) + r\sigma_\epsilon^2 - 1}{2 (1 + r\sigma_\epsilon^2)^2} + \frac{r\sigma_\epsilon^2}{1 + r\sigma_\epsilon^2} C. \quad (30)$$

Notar que en esta estructura organizacional, el contrato utiliza dos instrumentos β_u^{SBC} y β_{bit}^{SBC} para inducir los esfuerzos e y a respectivamente, mientras que el contrato sobre costos operativos bajo *bundling*, emplea sólo β_b^{SB} para motivar ambos esfuerzos. Estas apreciaciones tienen implicancias en términos de asignación de riesgos y bienestar, como veremos a continuación.

V. *Bundling* sobre costos vs. *unbundling* sobre costos con incentivos en infraestructura

Este apartado tiene dos motivaciones esenciales. Primero, busca establecer una relación entre los niveles de esfuerzos en calidad de operación y construcción alcanzados mediante un contrato sobre costos bajo *PPP*, y un acuerdo sobre costos con incentivos en calidad de infraestructura bajo *unbundling*. Segundo, y en base a lo anterior, intenta definir una relación de preferencia en términos de bienestar esperado entre los arreglos contractuales anteriores, para luego analizar el impacto de variaciones en los efectos marginales del esfuerzo a sobre las condiciones en las cuales se da dicha preferencia.

V.I. Análisis de esfuerzos

Comencemos considerando el siguiente Lema:

Lema. *Los niveles de esfuerzos siguen el orden $e_u^{SBC} < e_b^{SB} \leq e^{FB}$ y $a_u^{SBC} \leq a_b^{SB} < a^{FB}$ sí y sólo si $r\sigma_\epsilon^2 \geq \delta b$, o $a_b^{SB} < a_u^{SBC} \leq a^{FB}$ y $e_u^{SBC} \leq e^{FB} < e_b^{SB}$ sí y sólo si $r\sigma_\epsilon^2 < \delta b$.*

El enunciado anterior, indica que la dupla de esfuerzos de equilibrio (a_b^{SB}, e_b^{SB}) que

³⁵Trivialmente si $\delta = 0$, se obtiene $W_u^{SBC} = W_b^{SB} = W_u^{SB}$. Además, $t(C)_u^{SBC} = t(C)_b^{SB} = t(C)_u^{SB}$ y $t(C)_{bit}^{SBC} = 0$.

surge de un contrato sobre costos bajo *bundling*, es mayor al respectivo par esfuerzos óptimos (a_u^{SBC}, e_u^{SBC}) proveniente de un contrato sobre costos con incentivos en calidad de infraestructura bajo *unbundling*, sí y sólo si el riesgo de costos operativos del proyecto es suficientemente alto ($r\sigma_\epsilon^2 \geq \delta b$). Adicionalmente, bajo esta condición los esfuerzos (a_b^{SB}, e_b^{SB}) y (a_u^{SBC}, e_u^{SBC}) son menores a los correspondientes esfuerzos de *first best* (a^{FB}, e^{FB}) . No obstante, si el riesgo de costos es suficientemente bajo ($r\sigma_\epsilon^2 < \delta b$), el esfuerzo en calidad de infraestructura a_u^{SBC} que se obtiene en el nuevo contrato supera al esfuerzo a_b^{SB} , pero no al *first best* a^{FB} . Observar además que el esfuerzo operativo en un contrato *bundling* sobre costos e_b^{SB} , pasa a ser mayor que e^{FB} .

Para entender la dinámica de este resultado, recordar que tanto los esfuerzos en calidad de infraestructura a_b^{SB} y a_u^{SBC} , como los esfuerzos en calidad operativa e_b^{SB} y e_u^{SBC} , aumentan a menor riesgo de costos operativos $r\sigma_\epsilon^2$. Entonces, gracias al Lema se deduce que a_u^{SBC} se aproxima al *first best* más rápido que a_b^{SB} al caer el riesgo de costos, ya que ambos niveles de esfuerzos se cruzan. Además a menor riesgo, el esfuerzo e_b^{SB} crece a tal punto que supera a e^{FB} si se cumple $r\sigma_\epsilon^2 < \delta b$, mientras que e_u^{SBC} continúa acercándose al *first best*.

En base a las apreciaciones anteriores, un contrato sobre costos con incentivos en calidad de infraestructura bajo *unbundling*, logra asignaciones de esfuerzos en calidad del proyecto más eficientes que un contrato sobre costos bajo *bundling*, para niveles de riesgo de costos del proyecto convenientemente bajos. Esto es debido a que el primer contrato hace uso de dos instrumentos β_u^{SBC} y β_{blt}^{SBC} para incentivar de manera independiente a los esfuerzos de los agentes, mientras que el segundo contrato sólo permite implementar β_b^{SB} para motivar los esfuerzos a y e del consorcio. No obstante, si el riesgo de costos operativos es elevado, los esfuerzos óptimos del nuevo contrato se encuentran más alejados de los niveles de *first best* que los correspondientes al acuerdo *PPP*, ya que poseen mayor sensibilidad frente a un aumento en dicho riesgo.

V.II. Análisis de bienestar

A fines de comparar los niveles esperados de bienestar asociados a los contratos bajo estudio, se establece el siguiente enunciado:

Proposición. *Existe un único polinomio cuadrático $\Omega(r\sigma_\epsilon^2)$, tal que $\Omega(r\sigma_\epsilon^2) \geq (<) 0$ sí y sólo si $W_b^{SB} \geq (<) W_u^{SBC}$, respectivamente. Además, $\Omega(r\sigma_\epsilon^2)$ tiene una única raíz real positiva $r\sigma_\epsilon^{2*}(\delta, b)$, que cumple $\left. \frac{\partial \Omega}{\partial r\sigma_\epsilon^2} \right|_{r\sigma_\epsilon^2 = r\sigma_\epsilon^{2*}} > 0 \forall \delta, b > 0$.*

contrato que induzca esfuerzos en calidad sobre cada agente. En tal caso, se recomienda utilizar un acuerdo que permita pagar un seguro conjunto a un consorcio de firmas dedicadas la construcción y la operación, ya que reduce el impacto del riesgo de costos sobre el valor del proyecto.

Ahora bien, ¿qué sucede con el riesgo de costos operativos crítico $r\sigma_\epsilon^{2*}(\delta, b)$, al producirse una variación en el efecto marginal del esfuerzo en calidad de infraestructura sobre los beneficios sociales (b) o sobre los costos (δ)? A continuación, se detallan los resultados de esta estática comparada:

Corolario. *La raíz $r\sigma_\epsilon^{2*}(\delta, b)$ es creciente estricta en $b \forall \delta, b > 0$. A su vez, existe un único valor crítico $\delta^*(b)$, tal que $r\sigma_\epsilon^{2*}(\delta, b)$ es creciente en $\delta \forall 0 < \delta \leq \delta^*$, $b > 0$, y estrictamente decreciente en $\delta \forall \delta > \delta^*$, $b > 0$.*

De este modo, el Corolario indica que un aumento en la sensibilidad de los beneficios al esfuerzo en calidad de la construcción (b), amplía el intervalo de valores del riesgo de costos $[0, r\sigma_\epsilon^{2*})$ en los cuales el contrato $t(C)$ y $t_{bit}(C)$ bajo *unbundling* es preferido al contrato $t(C)$ en *bundling*. Adicionalmente, lo mismo ocurre sobre $r\sigma_\epsilon^{2*}(\delta, b)$ frente a un incremento del efecto marginal del esfuerzo a sobre los costos operativos (δ), si el mismo toma valores suficientemente bajos ($0 < \delta \leq \delta^*$). Sin embargo, dados niveles de δ suficientemente elevados ($\delta > \delta^*$), un aumento en este parámetro disminuye el intervalo de valores del riesgo $[0, r\sigma_\epsilon^{2*})$ tales que el contrato $t(C)$ y $t_{bit}(C)$ en *unbundling* es preferido al arreglo contractual sobre costos operativos bajo *bundling*³⁶.

Las fuerzas subyacentes en $\frac{\partial r\sigma_\epsilon^{2*}(\delta, b)}{\partial b} > 0 \forall \delta, b > 0$ señalan que, a mayor beneficio marginal del esfuerzo en calidad de infraestructura (b):

- (a) Hay trivialmente un efecto directo positivo sobre los beneficios sociales B .
- (b) Un contrato con transferencias $t(C)$ y $t_{bit}(C)$ obtiene un mayor incremento del esfuerzo en calidad infraestructura (a) que un contrato $t(C)$ bajo *bundling*, y en consecuencia, logra un aumento de beneficios y una disminución de costos superior.
- (c) Existe también una reducción de costos del servicio que genera el contrato $t(C)$ bajo *bundling*, por medio de un mayor esfuerzo en calidad operativa (e) que eventualmente supera al *first best*.

³⁶El razonamiento es válido si, dados $\xi, \chi > 0$, $E_\epsilon(C_b^{SB}) = \theta_0 - e_b^{SB}(\delta^* + \xi) - (\delta^* + \xi) a_b^{SB}(\delta^* + \xi) > 0$ y $E_\epsilon(C_u^{SBC}) = \theta_0 - e_u^{SBC} - (\delta^* + \chi) a_u^{SBC}(\delta^* + \chi) > 0$, *ceteris paribus*.

Considerando adicionalmente los efectos del aumento de b sobre los costos de los esfuerzos $(\frac{e^2}{2}, \frac{a^2}{2})$ y el *risk premium* en cada contrato, crece el intervalo de niveles de riesgo $[0, r\sigma_\epsilon^{2*})$ tal que es deseable un contrato $t(C)$ y $t_{bt}(C)$ bajo *unbundling* respecto a un contrato *PPP*.

Veamos analíticamente las observaciones anteriores. De la ecuación (1), se obtiene que un incremento del efecto del esfuerzo a sobre los beneficios sociales del servicio (b) aumenta a estos últimos en a_u^{SBC} bajo el nuevo contrato, y en a_b^{SB} bajo el contrato sobre costos en *bundling*, cumpliéndose (a). Recordar que si b crece de forma tal que $\delta b > r\sigma_\epsilon^2$, por el Lema se deduce que $a_u^{SBC} > a_b^{SB}$, y en consecuencia la magnitud efecto producido bajo el primer contrato es mayor que en el segundo.

Por otra parte, derivando las expresiones (14) y (25) respecto a b , se aprecia que

$$\frac{\partial a_u^{SBC}}{\partial b} = \frac{\delta^2}{\delta^2 + r\sigma_\epsilon^2} > \frac{\delta^2}{1 + \delta^2 + r\sigma_\epsilon^2} = \frac{\partial a_b^{SB}}{\partial b} \quad \forall \delta, r\sigma_\epsilon^2 > 0. \quad (31)$$

Entonces, el aumento indirecto del esfuerzo en calidad de construcción frente a una suba en b , produce un mayor incremento de beneficios y disminución de costos bajo el contrato $t(C)$ y $t_{bt}(C)$ respecto del contrato *PPP*, de modo que se verifica (b). Lo anterior se debe a que al aumentar b , este último contrato tiene menos poder sobre el esfuerzo a que el primero, ya que incentiva a e_b^{SB} con el mismo instrumento (β_b^{SB}).

Asimismo, utilizando las ecuaciones (13) y (23) puede obtenerse

$$\frac{\partial e_u^{SBC}}{\partial b} = 0 < \frac{\delta}{1 + \delta^2 + r\sigma_\epsilon^2} = \frac{\partial e_b^{SB}}{\partial b} \quad \forall \delta, r\sigma_\epsilon^2 > 0, \quad (32)$$

de modo que si b crece, hay un mayor esfuerzo en calidad operativa sólo bajo *bundling* en un contrato $t(C)$. Notar que una variación en el efecto del esfuerzo en calidad de infraestructura sobre beneficios, repercute sólo en a bajo el nuevo contrato y no afecta indirectamente al esfuerzo e , ya que se ofrece de manera separada una transferencia al constructor y al operador del proyecto. Además, se advierte que si b aumenta de modo que $\delta b > r\sigma_\epsilon^2$, el Lema indica que el esfuerzo del operador sobrepasa al *first best* ($e_b^{SB} > e^{FB}$) bajo *PPP*, lo cual no es deseable. Entonces, vale (c).

Por último, y teniendo en cuenta las apreciaciones anteriores, evaluemos si el efecto total en el valor esperado del proyecto neto del *risk premium* de un incremento en b , es mayor bajo *unbundling* en un contrato $t(C)$ y $t_{bt}(C)$ que bajo *bundling* en un contrato $t(C)$. Derivando las funciones de bienestar esperado de los arreglos

contractuales mencionados, puede verse que $\frac{\partial W_u^{SBC}}{\partial b} \geq \frac{\partial W_b^{SB}}{\partial b}$ se escribe

$$\begin{aligned} & \frac{\delta^2(b+\delta)}{\delta^2+r\sigma_\epsilon^2} + (b+\delta)\frac{\delta^2}{\delta^2+r\sigma_\epsilon^2} - \frac{\delta^4(b+\delta)}{(\delta^2+r\sigma_\epsilon^2)^2} - r\sigma_\epsilon^2\frac{\delta^2(b+\delta)}{(\delta^2+r\sigma_\epsilon^2)^2} \geq \frac{\delta+\delta^2(b+\delta)}{1+\delta^2+r\sigma_\epsilon^2} \\ & + (b+\delta)\frac{\delta^2}{1+\delta^2+r\sigma_\epsilon^2} + \frac{\delta}{1+\delta^2+r\sigma_\epsilon^2} - \frac{\delta^3+\delta^4(b+\delta)}{(1+\delta^2+r\sigma_\epsilon^2)^2} - \frac{\delta+\delta^2(b+\delta)}{(1+\delta^2+r\sigma_\epsilon^2)^2} \\ & - r\sigma_\epsilon^2\frac{\delta+\delta^2(b+\delta)}{(1+\delta^2+r\sigma_\epsilon^2)^2}. \end{aligned} \quad (33)$$

Luego de operar sobre la desigualdad anterior, puede obtenerse $r\sigma_\epsilon^2 \leq \delta b$. En particular, evaluando esta expresión en el riesgo crítico de costos operativos, se cumple

$$r\sigma_\epsilon^{2*}(\delta, b) < \delta b \quad \forall \delta, b > 0, \quad (34)$$

lo cual permite concluir que $\frac{\partial r\sigma_\epsilon^{2*}(\delta, b)}{\partial b} > 0 \quad \forall \delta, b > 0$.

A fines de interpretar este resultado, observar que debido al Lema, la nueva condición $r\sigma_\epsilon^{2*} < \delta b$ implica que el orden de los esfuerzos evaluado en el nivel crítico de riesgo de costos es $a_b^{SB} < a_u^{SBC} \leq a^{FB}$, y $e_u^{SBC} \leq e^{FB} < e_b^{SB}$. Por consiguiente, un aumento en el efecto marginal del esfuerzo a sobre los beneficios (b), amplía el intervalo $[0, r\sigma_\epsilon^{2*})$ para el cual un contrato $t(C)$ y $t_{blt}(C)$ bajo *unbundling* es preferido a un acuerdo *PPP*, debido a que el par de esfuerzos (a, e) se vuelve más cercano al *first best* bajo el primer contrato para mayores niveles de riesgo, aún considerando los costos de los esfuerzos y el *risk premium*. Además, el efecto directo de b sobre los beneficios del proyecto se hace mayor en el margen respecto a *PPP*.

Concluido el análisis anterior, resta solamente interpretar $\frac{\partial r\sigma_\epsilon^{2*}(\delta, b)}{\partial \delta} > 0 \quad \forall \delta \leq \delta^*$, y $\frac{\partial r\sigma_\epsilon^{2*}(\delta, b)}{\partial \delta} < 0 \quad \forall \delta > \delta^*$. Para ello, es necesario realizar algunos comentarios. Dada un alza en el efecto de a sobre costos operativos (δ), los esfuerzos en calidad de infraestructura a_b^{SB} y a_u^{SBC} crecen (ver las expresiones (15) y (26)) de manera similar a la estática previa, mientras el esfuerzo en calidad operativa e_b^{SB} del contrato sobre costos aumenta a tasa decreciente si $\delta \leq \delta^{SB}$, debido a que la variable δ es de segundo grado en la ecuación (13). El esfuerzo en calidad operativa e_u^{SBC} del contrato $t(C)$ y $t_{blt}(C)$, a su vez, no se ve afectado frente a cambios en δ .

Por otra parte, recordar que un aumento en el efecto marginal δ tal que $\delta b > r\sigma_\epsilon^2$ produce que el esfuerzo e_b^{SB} se encuentre por encima del *first best*, y en caso que dicho efecto sea suficientemente grande ($\delta > \delta^{SB}$), el incentivo β_b^{SB} en *PPP* comienza a disminuir si los costos esperados aún son positivos, acercándose e_b^{SB} a e^{FB} . Además,

como la expresión (34) establece que $r\sigma_\epsilon^{2*}(\delta, b)$ cumple $\delta b > r\sigma_\epsilon^2$, entonces e_b^{SB} supera su *first best* dado el nivel de riesgo crítico $r\sigma_\epsilon^{2*}(\delta, b)$. El mismo motivo hace que el efecto directo en reducción de costos operativos de un aumento en δ , sea mayor para el nuevo contrato, pues $a_u^{SBC} > a_b^{SB}$ vale si $\delta b > r\sigma_\epsilon^2$. Por último, frente a incrementos en el efecto de a sobre costos, la lógica indica que el contrato $t(C)$ y $t_{bt}(C)$ bajo *unbundling* produce un *risk premium* marginalmente mayor respecto al contrato sobre costos bajo *bundling*, ya que el primer contrato permite potenciar el mayor retorno del esfuerzo con un mejor incentivo que el segundo, a costo del pago de un seguro más alto.

En conclusión, se establece que dado un aumento del efecto en reducción de costos operativos del esfuerzo a (δ), el intervalo $[0, r\sigma_\epsilon^{2*})$ para el cual un contrato $t(C)$ y $t_{bt}(C)$ bajo *unbundling* se prefiere al contrato *PPP*, crece si $\delta \leq \delta^*$ aunque a tasa decreciente, puesto que el esfuerzo operativo bajo el segundo contrato se aleja del *first best* en menor magnitud o se acerca al mismo, y el *risk premium* del primer contrato se vuelve superior al del segundo para menores niveles de riesgo operativo. Más aún, dado un incremento del efecto marginal δ tal que $\delta > \delta^*$, los efectos mencionados se vuelven considerablemente grandes y ocasionan una reducción del intervalo $[0, r\sigma_\epsilon^{2*})$.

El Gráfico a continuación, ilustra el comportamiento de $\frac{\partial r\sigma_\epsilon^{2*}(\delta, b)}{\partial \delta}$ para distintos valores del beneficio marginal del esfuerzo a (b). Se aprecia en cada caso que variaciones positivas en δ menores a $\delta^*(b)$, provocan incrementos en el riesgo $r\sigma_\epsilon^{2*}$ cada vez más pequeños, a tal punto que dicho nivel de riesgo crítico se reduce si $\delta > \delta^*$. Nótese también que el valor crítico $\delta^*(b)$ es creciente en b , por lo que existe una sinergia positiva entre los efectos marginales sobre beneficios y costos del esfuerzo en calidad de infraestructura, a favor del nuevo contrato. Esto último se explica mediante una asignación de riesgos más eficiente del contrato *unbundling* con transferencias $t(C)$ y $t_{bt}(C)$ respecto al acuerdo *PPP*, que permite aprovechar mejor los mayores retornos del esfuerzo en calidad a .

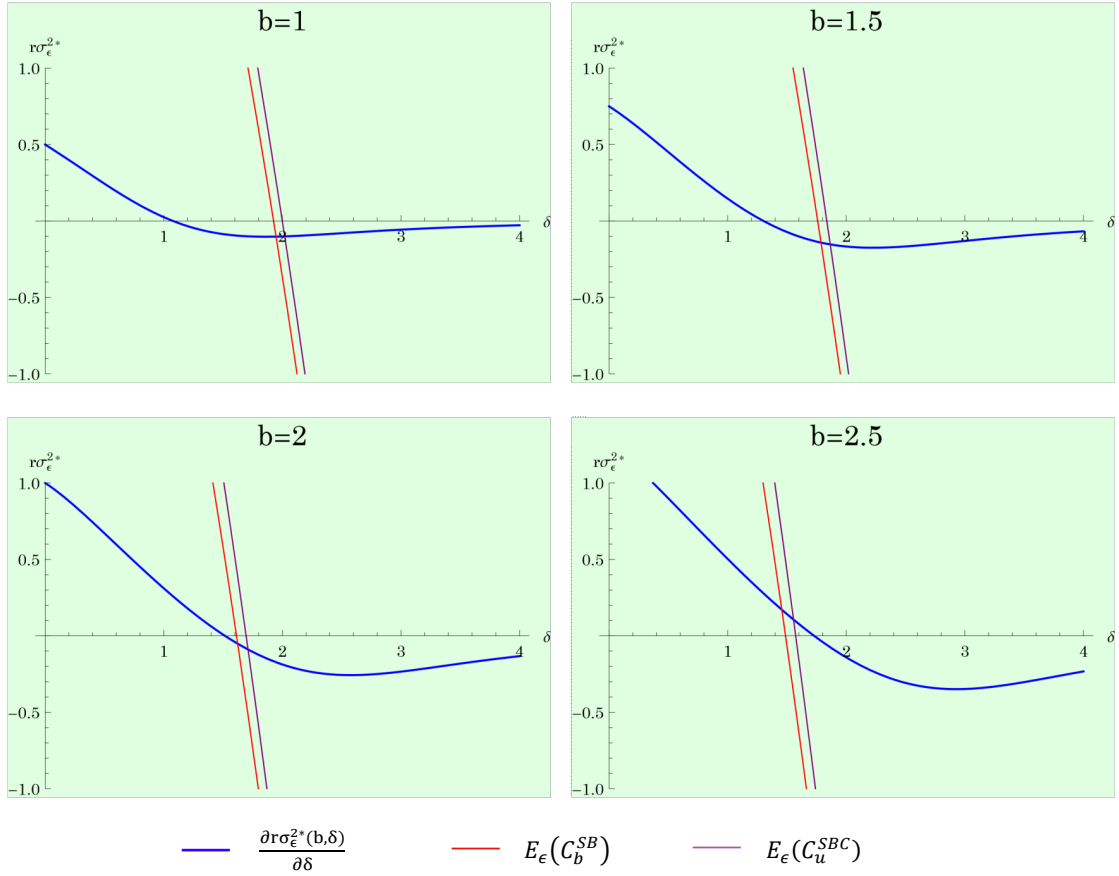


Gráfico. Efecto de δ sobre el riesgo de costos crítico y los costos esperados, bajo distintos valores de b ($\theta_0 = 6$, $r\sigma_{\epsilon}^2 = 0.5$).

Además, observar del Gráfico que se cumple $E_{\epsilon}(C_b^{SBC}) = \theta_0 - e_b^{SBC}(\delta) - \delta a_b^{SBC}(\delta) > 0$ y $E_{\epsilon}(C_u^{SBC}) = \theta_0 - e_u^{SBC} - \delta a_u^{SBC}(\delta) > 0$ para valores de δ tales que $\frac{\partial r\sigma_{\epsilon}^{2*}(\delta,b)}{\partial \delta} < 0$ con b fijo, excepto en el caso que $b = 2.5$ (suponiendo $\theta_0 = 6$ y $r\sigma_{\epsilon}^{2*} = 0.5$). Sumado a que $\delta^*(b)$ es creciente en el efecto marginal b , se observa que las restricciones se endurecen al aumentar el poder de reducción de costos de los contratos, por lo que $\frac{\partial r\sigma_{\epsilon}^{2*}(\delta,b)}{\partial \delta} < 0$ puede llegar a ser irrelevante.

VI. Ejercicio numérico

El siguiente ejercicio busca ejemplificar el comportamiento respecto al riesgo de los distintos tipos de contratos analizados, y a su vez evaluar las implicancias de lo anterior sobre el desempeño del proyecto.

Primero, supongamos que los parámetros del modelo toman valores $b = 2$, $\delta = 1.5$, $b_0 = 8$, y $\theta_0 = 6$. Luego, se puede ver que el valor del riesgo $r\sigma_\epsilon^{2*}(\delta, b)$ del polinomio $\Omega(r\sigma_\epsilon^2)$ en el cual se cumple $W_b^{SB} = W_u^{SBC}$ (ver la expresión (A5) del Apéndice), es $r\sigma_\epsilon^{2*}(1.5, 2) = 0.74$. Considerando lo anterior, tomemos un nivel de riesgo operativo $r\sigma_{\epsilon,1}^2 = 0.5 < r\sigma_\epsilon^{2*}(1.5, 2)$ tal que *unbundling* con contrato $t(C)$ y $t_{blt}(C)$ sea preferido a *bundling* con contrato $t(C)$, y un nivel de riesgo $r\sigma_{\epsilon,2}^2 = 1 > r\sigma_\epsilon^{2*}(1.5, 2)$ en el que ocurra lo contrario.

De este modo, haciendo uso de $r\sigma_{\epsilon,1}^2$ y $r\sigma_{\epsilon,2}^2$, obtenemos numéricamente los siguientes contratos:

$$t(C)_u^{SB}(r\sigma_{\epsilon,1}^2) = \alpha_u^{SB} + (1 - \beta_u^{SB}) C = 3.89 + 0.33 C, \quad (35)$$

$$t(C)_u^{SB}(r\sigma_{\epsilon,2}^2) = 3 + 0.5 C, \quad (36)$$

$$t(C)_b^{SB}(r\sigma_{\epsilon,1}^2) = \alpha_b^{SB} + (1 - \beta_b^{SB}) C = 6.18 - 0.66 C, \quad (37)$$

$$t(C)_b^{SB}(r\sigma_{\epsilon,2}^2) = 6.39 - 0.47 C, \quad (38)$$

$$\begin{cases} t(C)_u^{SBC}(r\sigma_{\epsilon,1}^2) = \alpha_u^{SBC} + (1 - \beta_u^{SBC}) C = 1.03 + 0.33 C, \\ t(C)_{blt}^{SBC}(r\sigma_{\epsilon,1}^2) = \alpha_{blt}^{SBC} - \beta_{blt}^{SBC} C = 6.99 - 1.91 C, \end{cases} \quad (39)$$

$$\begin{cases} t(C)_u^{SBC}(r\sigma_{\epsilon,2}^2) = 1.18 + 0.5 C, \\ t(C)_{blt}^{SBC}(r\sigma_{\epsilon,2}^2) = 7.25 - 1.62 C. \end{cases} \quad (40)$$

Notar que los pagos α_b^{SB} , α_u^{SBC} , y α_{blt}^{SBC} dan mayores ingresos a las firmas asociadas al crecer el riesgo del proyecto. Trivialmente, como los contratistas son aversos al riesgo, un mayor nivel de incertidumbre genera la necesidad de un pago fijo más alto de G que permita compensar su efecto negativo. De forma similar, el *share* de costos $(1 - \beta_b^{SB})$ y el incentivo β_{blt}^{SBC} soportado por los respectivos agentes, son menores si el riesgo es alto. Esto se deduce lógicamente de una asignación de riesgos a favor de la empresa y en detrimento del gobierno frente a un mayor riesgo. Además, se aprecia que los incentivos en reducción de costos siguen el orden esperado: $\beta_u^{SB} = \beta_u^{SBC} \ll \beta_b^{SB} < \beta_{blt}^{SBC}$.

Contrario al párrafo anterior, bajo el contrato $t(C)_u^{SB}$ se ve que el pago α_u^{SB} ofrece menores ingresos al operador cuando el riesgo aumenta, sumado al hecho que $(1 - \beta_u^{SB})$ es positivo y creciente en el riesgo de costos. Por tanto al pasar de $r\sigma_{\epsilon,1}^2$ a $r\sigma_{\epsilon,2}^2$, G otorga un pago asociado a los costos del proyecto $(1 - \beta_u^{SB})$ más grande, compensado por una reducción de la renta α_u^{SB} . El funcionamiento del acuerdo, entonces, puede vincularse a un contrato *cost plus* como se mencionó en la Sección IV.I.3. Por otro lado, notar que

$(1 - \beta_u^{SB}) = (1 - \beta_u^{SBC}) < 1$: los *shares* de costos a cargo del operador en los contratos $t(C)_u^{SB}$ y $t(C)_u^{SBC}$ son iguales, y cubren parcialmente los costos operativos, por lo que ambos acuerdos generan incentivos en el operador para reducirlos. No obstante, el pago α_u^{SBC} del segundo contrato es menor que α_u^{SB} , ya que el constructor realiza un esfuerzo positivo al igual que el operador. Incluso α_u^{SBC} crece con el riesgo, aumentando el seguro pagado al agente.

El próximo paso consiste en comparar $t(C)_u^{SBC}$ y $t(C)_{btt}^{SBC}$, con el contrato $t(C)_b^{SB}$. Se distingue de las expresiones (37) - (40) que, como el *trade off* entre incentivos al esfuerzo y premio al riesgo se exacerba en el nuevo contrato respecto del acuerdo *PPP*, el pago fijo α_{btt}^{SBC} del constructor es mayor que α_b^{SB} , mientras que β_{btt}^{SBC} es superior al incentivo β_b^{SB} del consorcio, para un riesgo determinado. Ahora bien, para que las transferencias totales del constructor y el operador en cada contrato sean comparables, sumemos miembro a miembro las ecuaciones pertenecientes a (39) y (40):

$$t(C)^{SBC}(r\sigma_{\epsilon,1}^2) = (\alpha_u^{SBC} + \alpha_{btt}^{SBC}) + (1 - \beta_u^{SBC} - \beta_{btt}^{SBC})C = 8.02 - 1.58C, \quad (41)$$

$$t(C)^{SBC}(r\sigma_{\epsilon,2}^2) = 8.44 - 1.12C. \quad (42)$$

Observar que tanto en $t(C)^{SBC}$ como $t(C)_b^{SB}$, al crecer el riesgo de costos operativos, aumentan los pagos fijos y disminuyen los *shares* de costos conjuntos del operador y el constructor. Además, en base a lo expresado, el contrato $t(C)^{SBC}$ tiene un mayor incentivo agregado en reducción de costos que el acuerdo $t(C)_b^{SB}$, y una suma de pagos fijos superior a α_b^{SB} , cualquiera sea el riesgo.

Habiendo concluido lo anterior, hallemos los niveles de esfuerzo en calidad correspondientes a cada contrato:

$$a_u^{SB}(r\sigma_{\epsilon,1}^2) = 0, \quad e_u^{SB}(r\sigma_{\epsilon,1}^2) = 0.67, \quad (43)$$

$$a_u^{SB}(r\sigma_{\epsilon,2}^2) = 0, \quad e_u^{SB}(r\sigma_{\epsilon,2}^2) = 0.5, \quad (44)$$

$$a_b^{SB}(r\sigma_{\epsilon,1}^2) = 2.5, \quad e_b^{SB}(r\sigma_{\epsilon,1}^2) = 1.67, \quad (45)$$

$$a_b^{SB}(r\sigma_{\epsilon,2}^2) = 2.21, \quad e_b^{SB}(r\sigma_{\epsilon,2}^2) = 1.47, \quad (46)$$

$$a_u^{SBC}(r\sigma_{\epsilon,1}^2) = 2.86, \quad e_u^{SBC}(r\sigma_{\epsilon,1}^2) = 0.67, \quad (47)$$

$$a_u^{SBC}(r\sigma_{\epsilon,2}^2) = 2.42, \quad e_u^{SBC}(r\sigma_{\epsilon,2}^2) = 0.5. \quad (48)$$

Como es de esperar, los esfuerzos operativos (e) y en calidad de infraestructura (a) son menores al pasar de $r\sigma_{\epsilon,1}^2$ a $r\sigma_{\epsilon,2}^2$ salvo para a_u^{SB} , cuyo valor es nulo dada la ausencia de

incentivo del contrato asociado. Adicionalmente, ver que para ambos niveles de riesgo en costos, $a^{FB} = 3.5 > a_u^{SBC} > a_b^{SB} \gg a_u^{SB} = 0$ y $e_b^{SB} > e^{FB} = 1 > e_u^{SBC} = e_u^{SB}$. Siguiendo al Lema, el hecho que e_b^{SB} se encuentre encima del *first best* y a_b^{SB} sea menor que a_u^{SBC} , es debido a $\delta b = 3 > 0.5 = r\sigma_{\epsilon,1}^2$ y $\delta b = 3 > 1 = r\sigma_{\epsilon,2}^2$.

Calculemos ahora los beneficios sociales y el costo esperado en cada caso:

$$B_u^{SB}(r\sigma_{\epsilon,1}^2) = 8, \quad E_\epsilon(C_u^{SB})(r\sigma_{\epsilon,1}^2) = 5.33, \quad (49)$$

$$B_u^{SB}(r\sigma_{\epsilon,2}^2) = 8, \quad E_\epsilon(C_u^{SB})(r\sigma_{\epsilon,2}^2) = 5.5, \quad (50)$$

$$B_b^{SB}(r\sigma_{\epsilon,1}^2) = 13, \quad E_\epsilon(C_b^{SB})(r\sigma_{\epsilon,1}^2) = 0.58, \quad (51)$$

$$B_b^{SB}(r\sigma_{\epsilon,2}^2) = 12.41, \quad E_\epsilon(C_b^{SB})(r\sigma_{\epsilon,2}^2) = 1.22, \quad (52)$$

$$B_u^{SBC}(r\sigma_{\epsilon,1}^2) = 13.73, \quad E_\epsilon(C_u^{SBC})(r\sigma_{\epsilon,1}^2) = 1.04, \quad (53)$$

$$B_u^{SBC}(r\sigma_{\epsilon,2}^2) = 12.85, \quad E_\epsilon(C_u^{SBC})(r\sigma_{\epsilon,2}^2) = 1.87. \quad (54)$$

Notar que al crecer el riesgo de costos, el efecto adverso sobre los niveles de esfuerzos hace que en todos los escenarios contractuales los beneficios caigan y los costos aumenten, excepto B_u^{SB} que se mantiene constante. Lo último es debido a que dichos beneficios dependen sólo del esfuerzo a , y este es nulo bajo el contrato $t(C)_u^{SB}$, por lo cual B_u^{SB} no se vincula con el riesgo. Del mismo modo, $E_\epsilon(C_u^{SB})$ no crece demasiado respecto al resto de los costos al aumentar el riesgo del proyecto, pues no es afectado por ningún esfuerzo en calidad de infraestructura. Por último, el orden de los beneficios y los costos operativos en cada contrato es $B^{FB} = 15 > B_u^{SBC} > B_b^{SB} \gg B_u^{SB}$, y $E_\epsilon(C^{FB}) \rightarrow 0^+ < E_\epsilon(C_b^{SB}) < E_\epsilon(C_u^{SBC}) \ll E_\epsilon(C_u^{SB})$ ³⁷ para los valores del riesgo $r\sigma_{\epsilon,1}^2$ y $r\sigma_{\epsilon,2}^2$. Apreciar que $E_\epsilon(C_b^{SB})$ llega a ser menor a $E_\epsilon(C_u^{SBC})$, ya que el esfuerzo operativo e_b^{SB} excede al *first best*.

³⁷Observar que para el costo esperado de *first best*, la restricción $E_\epsilon(C) > 0$ es operativa.

A continuación, veamos el máximo bienestar logrado en cada acuerdo:

$$W_u^{SB}(r\sigma_{\epsilon,1}^2, a_u^{SB}, e_u^{SB}, \beta_u^{SB}) = 2.33, \quad (55)$$

$$W_u^{SB}(r\sigma_{\epsilon,2}^2, \dots) = 2.25, \quad (56)$$

$$W_b^{SB}(r\sigma_{\epsilon,1}^2, a_b^{SB}, e_b^{SB}, \beta_b^{SB}) = 7.21, \quad (57)$$

$$W_b^{SB}(r\sigma_{\epsilon,2}^2, \dots) = 6.60, \quad (58)$$

$$W_u^{SBC}(r\sigma_{\epsilon,1}^2, a_u^{SBC}, e_u^{SBC}, \beta_u^{SBC}, \beta_{blt}^{SBC}) = 7.34, \quad (59)$$

$$W_u^{SBC}(r\sigma_{\epsilon,2}^2, \dots) = 6.49. \quad (60)$$

Como es esperable, los niveles de bienestar decrecen frente al incremento del riesgo de costos operativos, a causa de menores esfuerzos en calidad del servicio y la necesidad de un mayor seguro por parte de los contratistas. Además, se cumple $W_b^{SB} < W_u^{SBC}$ cuando el riesgo del proyecto es $r\sigma_{\epsilon,1}^2$, y $W_b^{SB} > W_u^{SBC}$ si dicho riesgo es $r\sigma_{\epsilon,2}^2$. Esto se debe a que el contrato sobre costos con incentivos en calidad de construcción, logra mejores niveles de esfuerzos que el acuerdo *PPP* para riesgos bajos. Sin embargo, el *risk premium* se exagera en el primer contrato al crecer el riesgo, a tal punto que el bienestar bajo *PPP* pasa a ser superior. Por otro lado, se distingue que los niveles de bienestar anteriores son ampliamente mayores que W_u^{SB} para cualquier valor del riesgo, mientras que $W^{FB}(a^{FB}, e^{FB}) = 8.63$ es el máximo bienestar posible. Recordar que en el *first best*, G obliga al agente a realizar esfuerzos que maximicen el valor esperado del proyecto, por lo que el riesgo es irrelevante.

Por último, averigüemos cuáles son los costos de las transferencias para el gobierno:

$$t(C)_u^{SB}(r\sigma_{\epsilon,1}^2) = 5.67 \quad (61)$$

$$t(C)_u^{SB}(r\sigma_{\epsilon,2}^2) = 5.75 \quad (62)$$

$$t(C)_b^{SB}(r\sigma_{\epsilon,1}^2) = 5.79 \quad (63)$$

$$t(C)_b^{SB}(r\sigma_{\epsilon,2}^2) = 5.82 \quad (64)$$

$$t(C)^{SBC}(r\sigma_{\epsilon,1}^2) = 7.42 \quad (65)$$

$$t(C)^{SBC}(r\sigma_{\epsilon,2}^2) = 8.22 \quad (66)$$

Se observa que los pagos realizados por G para inducir esfuerzos en calidad, son crecientes en el riesgo del proyecto para todos los acuerdos contractuales. También

puede verse que en ambos niveles riesgo, $t(C)^{SBC}$ es ampliamente más costoso para el principal que los contratos $t(C)_b^{SB}$ y $t(C)_u^{SB}$. Esto se explica a través del uso de dos instrumentos para incentivar esfuerzos bajo el primer contrato, lo que conlleva costos del gobierno considerablemente mayores debido a la duplicación del premio al riesgo. Por otra parte, se advierte que el contrato $t(C)_b^{SB}$ produce un costo levemente más alto que $t(C)_u^{SB}$, no obstante, hemos comprobado que las ganancias en reducción de costos operativos y aumento de beneficios son notablemente superiores.

VII. Conclusión

Este trabajo estudia si la provisión de un servicio a la sociedad en un modelo principal-agente con dos tareas y dos esfuerzos, suponiendo aversión al riesgo y *moral hazard* por parte de el/los contratista/s, es deseable bajo *PPP* u otra forma contractual.

Del análisis se desprende que:

- (a) *PPP* domina al *procurement* tradicional bajo un contrato sobre costos operativos, en términos de mejores incentivos al esfuerzo en calidad y mayor valor esperado del proyecto. De esta forma, el desarrollo conjunto de las actividades permite explotar las economías de alcance informativas del servicio.
- (b) Un contrato en costos de operación con incentivos en la calidad de construcción sobre dos agentes separados, domina a *PPP* en asignación de esfuerzos y nivel de bienestar, si el riesgo de costos operativos es adecuadamente bajo. Esto se debe a que el primer contrato utiliza un instrumento específico para motivar cada esfuerzo, logrando mejores estímulos en calidad del servicio a costo del pago de un mayor *risk premium* por parte del gobierno.
- (c) Aumentos en los efectos marginales de la calidad en infraestructura hacen deseable al nuevo contrato frente a *PPP* para niveles superiores de riesgo en costos, ya que sus incentivos generan esfuerzos en calidad con mejores retornos, dado un riesgo moderado. Este resultado se revierte para efectos de la calidad de construcción sobre costos muy elevados, debido a un excesivo *risk premium*.

A la luz de esta investigación, un contrato *unbundling* sobre costos operativos con participación del constructor en las ganancias de reducción de costos, se presenta como una alternativa a *PPP* en países con instituciones fuertes y baja volatilidad

macroeconómica. La posibilidad de utilizar bajo este novedoso contrato un instrumento para cada tipo de esfuerzo, permite lograr una mejor asignación de riesgos en proyectos seguros, lo que redundará en ganancias de eficiencia y mayores retornos sociales de servicios que hoy están en crisis, como gran parte de los proyectos *PPP* europeos.

Por último, es pertinente discutir la factibilidad del contrato *unbundling* sobre costos con incentivos en calidad de infraestructura. ¿Se puede remunerar al constructor tiempo después de concluido su trabajo, al revelarse los costos operativos con el funcionamiento del servicio? Notar que el *timing* de pagos al constructor en este contrato es idéntico al de *PPP*, ya que el gobierno otorga la/s transferencia/s una vez realizados los costos de operación del servicio, independientemente si el constructor forma parte o no de un consorcio de firmas. En este sentido, el nuevo contrato no supone inconvenientes respecto del acuerdo *PPP*.

La dificultad *a priori* más notable de este tipo de contrato *unbundling*, radica en identificar con exactitud la contribución de cada agente a la reducción de costos. Este problema puede propiciar la existencia de *side transfers* por parte del operador al gobierno, con el fin de exagerar su participación sobre la disminución de costos, y subestimar el esfuerzo en calidad de la firma encargada de la infraestructura. En tal caso, el pago del *risk premium* al constructor se vería afectado negativamente a favor del operador. A su vez, el constructor podría anticipar este comportamiento, y realizar inversiones en calidad de infraestructura menores, en perjuicio del valor del proyecto. Del mismo modo, las *side transfers* pueden ser realizadas por el responsable de la infraestructura, y perjudicar a quien ofrece el servicio al público³⁸.

Apéndice

Prueba del Lema. Operando sobre la siguiente expresión:

$$a_b^{SB} = \frac{\delta + \delta^2(b + \delta)}{1 + \delta^2 + r\sigma_\epsilon^2} \geq \frac{\delta^2(b + \delta)}{\delta^2 + r\sigma_\epsilon^2} = a_u^{SBC}, \quad (A1)$$

puede obtenerse la condición $r\sigma_\epsilon^2 \geq \delta b$. Esto es, si el esfuerzo en calidad de infraestructura de *second best* es mayor o igual en *bundling* con contrato $t(C)$ que bajo *unbundling* con contratos $t(C)$ y $t(C)_{blt}$, se cumple $r\sigma_\epsilon^2 \geq \delta b$. Del mismo modo, se obtiene trivialmente que $a_b^{SB} < a_u^{SBC}$ implica $r\sigma_\epsilon^2 < \delta b$. Luego, $a_b^{SB} \geq a_u^{SBC} \Leftrightarrow r\sigma_\epsilon^2 \geq \delta b$

³⁸Para más información acerca de corrupción en proyectos de infraestructura, ver Dal Bó y Rossi (2007), Locatelli et al. (2017).

$$\vee a_b^{SB} < a_u^{SBC} \Leftrightarrow r\sigma_\epsilon^2 < \delta b.$$

Por otro lado, es fácil ver que

$$e_b^{SB} = \frac{1 + \delta(b + \delta)}{1 + \delta^2 + r\sigma_\epsilon^2} > \frac{1}{1 + r\sigma_\epsilon^2} = e_u^{SBC} \quad \forall \delta > 0, b, r\sigma_\epsilon^2 \geq 0. \quad (\text{A2})$$

El esfuerzo operativo de *second best* en el contrato $t(C)$ bajo *bundling* es mayor que en *unbundling* bajo el nuevo contrato, para cualquier valor de parámetros.

Hasta ahora, se ha probado que si $r\sigma_\epsilon^2 \geq \delta b$, entonces $a_b^{SB} \geq a_u^{SBC}$ y $e_b^{SB} > e_u^{SBC}$. Además si $r\sigma_\epsilon^2 < \delta b$, los esfuerzos en calidad de infraestructura de ambos contratos se revierten: $a_b^{SB} < a_u^{SBC}$ y $e_b^{SB} > e_u^{SBC}$. Lo que sigue, es ordenar los niveles de esfuerzos anteriores respecto a a^{FB} y e^{FB} , según corresponda.

Recordar que la condición $r\sigma_\epsilon^2 \geq \delta b$ implica $e_b^{SB} \leq e^{FB} = 1$, y por lo tanto se deduce $a_b^{SB} = \delta e_b^{SB} < b + \delta = a^{FB}$. Luego, ambos niveles de esfuerzo en un contrato $t(C)$ bajo *bundling* son menores a los respectivos esfuerzos de *first best* si se cumple $r\sigma_\epsilon^2 \geq \delta b$, y por transitividad se concluye que $e_u^{SBC} < e_b^{SB} \leq e^{FB}$ y $a_u^{SBC} \leq a_b^{SB} < a^{FB}$.

En cambio si $r\sigma_\epsilon^2 < \delta b$ se sabe que $e_b^{SB} > 1$, y fácilmente se puede obtener

$$a_u^{SBC} = \frac{\delta^2(b + \delta)}{\delta^2 + r\sigma_\epsilon^2} \leq b + \delta \quad \forall \delta, b, r\sigma_\epsilon^2 \geq 0. \quad (\text{A3})$$

Además se cumple $e_u^{SBC} = \frac{1}{1+r\sigma_\epsilon^2} \leq 1 \quad \forall r\sigma_\epsilon^2 \geq 0$, y bajo $r\sigma_\epsilon^2 < \delta b$ vimos anteriormente que $a_b^{SB} < a_u^{SBC}$. Por consiguiente si $r\sigma_\epsilon^2 < \delta b$, tenemos el orden $a_b^{SB} < a_u^{SBC} \leq a^{FB}$, y $e_u^{SBC} \leq e^{FB} < e_b^{SB}$. ■

Prueba de la Proposición. Partiendo de la desigualdad $W_b^{SB} \geq W_u^{SBC}$, se puede obtener el polinomio cuadrático

$$\Omega(r\sigma_\epsilon^2) = E (r\sigma_\epsilon^2)^2 + Fr\sigma_\epsilon^2 + G \geq 0, \quad (\text{A4})$$

cuyos parámetros son $E = 2(b + \delta)$, $F = \delta(\delta^2 - b^2 + 1) + 2b$, y $G = -\delta b^2$. Esto es, si el contrato $t(C)$ bajo *bundling* genera mayor o igual bienestar que el par de contratos $t(C)$ y $t_{bt}(C)$ bajo *unbundling*, el polinomio cuadrático cumple con $\Omega \geq 0$. Análogamente, si $W_b^{SB} < W_u^{SBC}$ entonces $\Omega < 0$, y en base a lo anterior se establece que $W_b^{SB} \geq W_u^{SBC} \Leftrightarrow \Omega \geq 0 \vee W_b^{SB} < W_u^{SBC} \Leftrightarrow \Omega < 0$.

Para probar la unicidad de la expresión (A4), tomemos una función de la clase de los polinomios cuadráticos $\Psi(r\sigma_\epsilon^2) \neq \Omega(r\sigma_\epsilon^2)$. Trivialmente, si al operar $W_b^{SB} \geq W_u^{SBC}$

se obtiene $\Psi \geq 0$ esto es absurdo, debido a que $W_b^{SB} \geq W_u^{SBC} \Rightarrow \Omega \geq 0$. Por lo tanto se cumple $\Psi(r\sigma_\epsilon^2) = \Omega(r\sigma_\epsilon^2)$, y como $\Psi(r\sigma_\epsilon^2)$ es arbitrario, el polinomio cuadrático $\Omega(r\sigma_\epsilon^2)$ es único.

Adicionalmente, de $\Omega(r\sigma_\epsilon^2)$ puede obtenerse una única raíz real positiva

$$r\sigma_\epsilon^{2*}(\delta, b) = \frac{-\delta(\delta^2 - b^2 + 1) - 2b + \sqrt{(\delta(\delta^2 - b^2 + 1) + 2b)^2 + 8(b + \delta)\delta b^2}}{4(b + \delta)} > 0$$

$$\forall \delta, b > 0,$$

o bien, parametrizando:

$$r\sigma_\epsilon^{2*}(\delta, b) = \frac{-F + \sqrt{F^2 - 4EG}}{2E} > 0 \quad \forall \delta, b > 0, \quad (\text{A5})$$

siendo $E = 2(b + \delta)$, $F = \delta(\delta^2 - b^2 + 1) + 2b$, y $G = \delta b^2$. Si se calcula la derivada $\Omega'(r\sigma_\epsilon^2)$:

$$\frac{\partial \Omega}{\partial r\sigma_\epsilon^2} = 4(\delta + b)r\sigma_\epsilon^2 + \delta(\delta^2 - b^2 + 1) + 2b, \quad (\text{A6})$$

y se la evalúa en el valor de la raíz hallada:

$$\left. \frac{\partial \Omega}{\partial r\sigma_\epsilon^2} \right|_{r\sigma_\epsilon^2 = r\sigma_\epsilon^{2*}} = \sqrt{(\delta(\delta^2 - b^2 + 1) + 2b)^2 + 8(b + \delta)\delta b^2} > 0 \quad \forall \delta, b > 0, \quad (\text{A7})$$

se concluye que el polinomio cuadrático $\Omega(r\sigma_\epsilon^2)$ es estrictamente creciente en el entorno de $r\sigma_\epsilon^{2*}(\delta, b)$. ■

Prueba del Corolario. Las derivadas parciales de la raíz $r\sigma_\epsilon^{2*}(\delta, b)$ del polinomio $\Omega(r\sigma_\epsilon^2)$, son por hipótesis

$$\frac{\partial r\sigma_\epsilon^{2*}(\delta, b)}{\partial b} = \frac{\delta}{4(b + \delta)^2} \left(-1 + (b + \delta)^2 + \frac{\delta b(b(6 + 2\delta b + b^2) + 2\delta(2 - \delta^2)) + 2b(1 + b^2) + \delta(1 - \delta^4)}{\sqrt{8\delta b^2(b + \delta) + (2b + \delta - \delta b^2 + \delta^3)^2}} \right) > 0 \quad \forall \delta, b > 0, \quad (\text{A8})$$

y

$$\frac{\partial r\sigma_{\epsilon}^{2*}(\delta, b)}{\partial \delta} = \frac{1}{4(b + \delta)^2} \left(b(1 + b^2) - \delta^2(3b + 2\delta) + \right. \\ \left. \frac{\delta b[-1 + b^2(b^2 + 4(1 - \delta^2)) + \delta(2b(3 - \delta^2) + 3\delta(2 + \delta^2))] + 2b^2(-1 + b^2) + 2\delta^4(1 + \delta^2)}{\sqrt{8\delta b^2(b + \delta) + (2b + \delta - \delta b^2 + \delta^3)^2}} \right) \\ \geq 0 \quad \forall 0 < \delta \leq \delta^*, b > 0, \\ < 0 \quad \forall \delta > \delta^*, b > 0. \quad (\text{A9})$$

A fines de probar la condición (A8), supongamos que $\frac{\partial r\sigma_{\epsilon}^{2*}(\delta, b)}{\partial b} = 0$. Esta igualdad se cumple analíticamente sí y sólo si $\delta = 0, b > 0 \vee \delta > 0, b = 0$ ³⁹. Pero por hipótesis $\delta, b > 0$, y en consecuencia $\frac{\partial r\sigma_{\epsilon}^{2*}(\delta, b)}{\partial b} \neq 0$. Además se verifica $\frac{\partial r\sigma_{\epsilon}^{2*}(\delta, b)}{\partial b} \not\leq 0$, ya que la derivada parcial es continua por ser una función polinómica definida en $\delta, b > 0$ ($\subset \mathbb{R}$), y existe al menos una dupla $(\delta, b) > (0, 0)$ tal que $\frac{\partial r\sigma_{\epsilon}^{2*}(\delta, b)}{\partial b} > 0$. Por ejemplo, si tomamos $(\delta, b) = (1.5, 2)$, entonces $\frac{\partial r\sigma_{\epsilon}^{2*}(1.5, 2)}{\partial b} = 0,59 > 0$. Finalmente, teniendo en cuenta las consideraciones anteriores, $\frac{\partial r\sigma_{\epsilon}^{2*}(\delta, b)}{\partial b} > 0 \quad \forall \delta, b > 0$.

En cuanto a la expresión (A9), no existe una función explícita del valor crítico $\delta^*(b)$ que permita probar analíticamente la hipótesis. Considerando lo anterior, se muestra la condición bajo estudio mediante el Gráfico presente en la Sección V.II. Tal como se puede apreciar, para distintos valores de $b > 0$, $\exists! \delta^*(b) / \frac{\partial r\sigma_{\epsilon}^{2*}(\delta, b)}{\partial \delta} \geq 0 \quad \forall 0 < \delta \leq \delta^* \vee \frac{\partial r\sigma_{\epsilon}^{2*}(\delta, b)}{\partial \delta} < 0 \quad \forall \delta > \delta^*$. ■

Referencias

- AUBERT, C., Y LAFFONT, J. J. (2004). “Political renegotiation of regulatory contracts.” *Mimeo IDEI, Toulouse*.
- BAJARI, P., Y TADELIS, S. (2001). “Incentives versus transaction costs: A theory of procurement contracts.” *Rand journal of Economics*, 387-407.
- BENNETT, J., Y IOSSA, E. (2006). “Building and managing facilities for public services.” *Journal of public economics*, 90(10-11), 2143-2160.
- CHEN, B. R., Y CHIU, Y. S. (2010). “Public-private partnerships: task interdependence and contractibility.” *International Journal of Industrial Organization*,

³⁹Notar que la derivada parcial es indeterminada sí y sólo si $\delta = b = 0$, y la regla de L'Hôpital no vale para el límite de funciones multivariadas. No obstante, este caso no es de interés para la demostración.

28(6), 591-603.

DAL BÓ, E., Y ROSSI, M. A. (2007). "Corruption and inefficiency: Theory and evidence from electric utilities." *Journal of Public Economics*, 91(5-6), 939-962.

ENGEL, E., FISCHER, R. D., Y GALETOVIC, A. (2006). "Renegotiation without holdup: Anticipating spending and infrastructure concessions." *NBER discussion paper*, N° 937.

ENGEL, E., FISCHER, R. D., Y GALETOVIC, A. (2013). "The basic public finance of public-private partnerships." *Journal of the European Economic Association*, 11(1), 83-111.

ENGEL, E., FISCHER, R. D., Y GALETOVIC, A. (2014). "The economics of public-private partnerships: A basic guide." *Cambridge University Press*.

EUROPEAN COURT OF AUDITORS (2018). "Public Private Partnerships in the EU: Widespread shortcomings and limited benefits." *ECA Special Report*, N° 9.

GUASCH, J., LAFFONT, J., Y STRAUB, S. (2007). "Concessions of infrastructure in Latin America: Government-led renegotiation." *Journal of Applied Econometrics*, 22(7), 1267-1294.

GUASCH, J., LAFFONT, J., Y STRAUB, S. (2008). "Renegotiation of concession contracts in Latin America: Evidence from the water and transport sectors." *International Journal of Industrial Organization*, 26(2), 421-442.

HART, O. (2003). "Incomplete contracts and public ownership: Remarks, and an application to public-private partnerships." *The Economic Journal*, 113(486), C69-C76.

HOLMSTROM, B., Y MILGROM, P. (1991). "Multitask principal-agent analyses: Incentive contracts, asset ownership, and job design." *Journal of Law, Economics, and Organization*, 7, 24-52.

HOPPE, E. I., Y SCHMITZ, P. W. (2013). "Public-private partnerships versus traditional procurement: Innovation incentives and information gathering." *The RAND Journal of Economics*, 44(1), 56-74.

INTER-AMERICAN DEVELOPMENT BANK (2017). "Evaluation of Public-Private Partnerships in Infrastructure." *IADB Office of Evaluation and Oversight*.

INTERNATIONAL MONETARY FUND (2004). "Public-Private Partnerships." Disponible en <https://www.imf.org/external/np/fad/2004/pifp/eng/031204.pdf>.

IOSSA, E., Y MARTIMORT, D. (2012). "Risk allocation and the costs and benefits of public-private partnerships." *The RAND Journal of Economics*, 43(3), 442-474.

IOSSA, E., Y MARTIMORT, D. (2015). "The simple microeconomics of public-private partnerships." *Journal of Public Economic Theory*, 17(1), 4-48.

KING, S., Y PITCHFORD, R. (2001). "Private or public? A taxonomy of optimal ownership and management regimes." *Mimeo, University of Melbourne*.

LEWIS, T., Y SAPPINGTON, D. (1995). "Optimal capital structure in agency relationships." *The RAND Journal of Economics*, 26(3), 343-361.

LOCATELLI, G., MARIANI, G., SAINATI, T., Y GRECO, M. (2017). "Corruption in public projects and megaprojects: There is an elephant in the room!" *International*

Journal of Project Management, 35(3), 252-268.

MARTIMORT, D., Y POUYET, J. (2008). "To build or not to build: Normative and positive theories of public-private partnerships." *International Journal of Industrial Organization*, 26(2), 393-411.

MARTIMORT, D., Y SAND-ZANTMAN, W. (2006). "Signalling and the design of delegated management contracts for public utilities." *The RAND Journal of Economics*, 37(4), 763-782.

MINISTERIO DE TRANSPORTE DE LA NACIÓN (2018). "Red de autopistas y rutas seguras: Participación Público-Privada." Disponible en <http://ppp.vialidad.gob.ar/wp-content/uploads/2017/11/PROYECTO-3.pdf>.

NATIONAL AUDIT OFFICE (2018). "PFI and PFI2." Disponible en <https://www.nao.org.uk/wp-content/uploads/2018/01/PFI-and-PF2.pdf>.

ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT (2011). "How to attain value for money: Comparing PPP and traditional infrastructure public procurement." *OECD Journal on Budgeting*, 2011/1.

RESIDE, R. (2009). "Global determinants of stress and risk in public-private partnerships (PPP) in infrastructure." *Asian Development Bank Institute*, N° 133.