

Pedro E. Colla<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Instituto Universitario Aeronáutico  
Postgrado en Sistemas Embebidos  
Av. Fuerza Aérea Km 8 ½  
(5000) Córdoba, Córdoba, Argentina  
pcolla@iua.edu.ar

**Resumen.** La esencia de una puja competitiva consiste en que un requirente o patrocinante solicita a uno o más oferentes la provisión de un bien o servicio bajo condiciones técnicas y comerciales específicas, estableciendo con ello un mecanismo de mercado tendiente a que los involucrados obtengan las mejores condiciones posibles. El artículo adapta modelos y comportamientos disponibles en la bibliografía al contexto en el que operan las compañías de software, en particular las condiciones que empujan a un oferente a realizar propuestas anormalmente bajas como consecuencia racional de su situación financiera configurando una "oferta temeraria" de manera que si tuviera impactos desfavorables durante la ejecución del proyecto podría negociar su posición, salirse del proyecto o quebrar; con mejor resultado financiero que absorber el impacto o perder en la competencia por el proyecto. En éstas condiciones el patrocinante no puede transferir sus riesgos y afronta costos adicionales significativos. El estudio del modelo desarrollado con datos propios de la industria de software permite obtener magnitudes de sensibilidad a los distintos factores intervinientes y que estrategias de mitigación pueden resultar atractivas. Se analiza el caso de un solo contratista y la puja competitiva entre muchos interpretando los beneficios de la adopción de mejores prácticas tales como aplicar modelos de madurez de competencias o seguros de caución. Se realiza una estimación preliminar de cuál debería ser el orden de seguro de caución para la industria bajo los escenarios estudiados.

## 1. Introducción

La esencia de una puja competitiva consiste en que un *requirente* o *patrocinante* (*sponsor*, en inglés) solicita a uno o más *oferentes* la provisión de un bien o servicio bajo condiciones técnicas y comerciales específicas, estableciendo con ello un mecanismo de mercado tendiente a que los involucrados obtengan las mejores condiciones posibles (Krishna, 2002). En general, los factores a partir de los cuales un oferente gana frente a otro es la satisfacción de criterios de admisibilidad técnico-comercial y de un determinado perfil de precio, usualmente el más bajo entre los competidores. Debido a ello las decisiones de precio realizadas por los oferentes son fundamentales para desarrollar una estrategia de mercado bajo éstas condiciones (Coskun, Erdis, & Demirci, 2013). Sin embargo, en las industrias de servicios de ingeniería donde éste mecanismo se aplica se observa el problema que decisiones de precio pueden perjudicar la ejecución posterior del proyecto. Debido a ello, los patrocinantes tienen especial interés en intentar otorgar el proyecto al oferente que les dé el mejor precio pero que no incurra en dificultades que le impidan terminar el proyecto para, de esa forma, evitar recibir los impactos técnicos y económicos que derivan de problemas de ejecución de los proyectos y que pueden eventualmente superar largamente los beneficios del menor precio inicial. La industria del desarrollo de software no está exenta de ésta situación, y de hecho es notoria por la elevada frecuencia de fallo en sus proyectos. En la medida que los proyectos relacionados con sistemas embebidos incrementan su cantidad y tamaño es aún insuficiente la cobertura en la bibliografía de las características derivadas de las ofertas temerarias en la industria. Por lo tanto, se supone atractivo un estudio preliminar que permita caracterizar los principales factores que lo inducen, su comportamiento cualitativo y algunas estrategias posibles para su mitigación.

## 2. Marco teórico

La relación entre oferentes y patrocinantes ocurre desde los albores de la humanidad en la forma de transacciones comerciales de distinto tipo, historiadores como Herodoto nos transmiten la existencia de distintas formas de operaciones basadas en compulsas o subastas comunes en el Imperio Romano (*latin augeo*) (Doyle & Baska, 2008). Sin embargo, la práctica cae en desuso hasta su resurgimiento durante los siglos XVII y XVIII con la aparición de las "candle auction". La aparición de emprendimientos tecnológicos que produjo la Revolución Industrial popularizó hacia finales del siglo XIX el formato de *proyecto* y el mecanismo de puja para determinar cuál de las ofertas, realizadas por uno o más oferentes en condiciones resultaría finalmente a quien se le adjudicara la realización de un proyecto. El mecanismo implica que tanto el patrocinante como el oferente tratan simultáneamente de satisfacer sus propios criterios de valor y maximizar su utilidad (Krishna,

2002). Las interacciones entre participantes pueden tener grados diferentes de visibilidad, mecanismos de invitación, a diferentes participantes y formalidad. En general, se cita como ventaja de las compulsas o pujas competitivas el intentar optimizar el precio con un mecanismo transparente. Persisten algunos problemas, entre ellos pueden enumerarse el excesivo foco en el costo como factor unidimensional, la dificultad de tener en cuenta capacidades cualitativas diferenciales entre los competidores y la aparición de los denominados “*comportamientos temerarios*” (Gunduz & H.V., 2017). En esencia, se trata de un juego no cooperativo con información imperfecta entre múltiples jugadores, los cuales pueden ser estudiados teóricamente mediante el equilibrio de Nash (Nash, 1950) (Kuhn & Nasar, 2007).

Friedman et.al (Friedman, 1956) propuso modelos formales para capturar el comportamiento de múltiples jugadores tratando de maximizar su resultado y la probabilidad de ganar el negocio bajo la hipótesis de ofertar el menor precio para una dada configuración de requerimientos.

Crowley et.al (Crowley, 1995) caracterizó las condiciones bajo las cuales un oferente podría, por error o deliberadamente, presentar una oferta anormalmente baja, condición que incrementa significativamente el riesgo durante la ejecución del proyecto si se producen impactos de costos significativos que deterioren la capacidad del contratista para abordarlos. El método propone analizar la función de distribución de los precios de las ofertas para detectar aquellas que por ser extremas puedan ser caracterizadas como discordantes del resto. Se apela a pruebas estadísticas para caracterizar el nivel de confianza que puede asignársele al análisis realizado. Debido a la limitada potencia estadística de los instrumentos involucrados la robustez puede, en la práctica, resultar débil; en particular si el número de participantes es pequeño. En ocasiones no es posible distinguir si una oferta es anormalmente baja por errores de cálculo en la estimación de los costos, excesivo optimismo o un comportamiento deliberado o *temerario* del contratista, en el que se incurre cuando la oferta que realiza tiene por propósito ganar en condiciones de alto riesgo el proyecto sobre el que se oferta y esto se realiza a sabiendas. Al mismo tiempo, los oferentes que deseen sesgar su oferta deliberadamente a la baja pueden mimetizar hasta cierto punto las ofertas con las de otros oferentes que no posean tal sesgo, otros autores (Harrower, 1999) (Zheng 2001) (Ballesteros-Pérez, y otros 2013) confirman que las estrategias en los oferentes con un comportamiento temerario son comunes.

Ioannou (Ioannou, 1993), entre otros autores (Grogan, 1992), propone en cambio evitar ofertas excesivamente bajas accidentales o deliberadas, a partir de seleccionar como ganadora a la oferta que más se aproxime al promedio de todas las ofertas disponibles para un proyecto. Este criterio impide que un oferente pueda ganar meramente reduciendo su oferta. Si bien puede parecer inicialmente que el patrocinante pagará un precio mayor que si hubiera seleccionado la oferta más baja, en los hechos está evitando el mayor costo que hubiera afrontado por costos adicionales debido a proyectos fracasados. Los oferentes, por su parte, pueden esperar ganancias mejores. Variantes de ésta propuesta (Calveras A. G., 2002) incluyen metodologías como adjudicar el proyecto al postulante del menor precio al monto del segundo mejor precio. Se argumenta que ésta estrategia de mitigación puede burlarse mediante la presentación de ofertas simultáneas “acordadas” con otros competidores que resulten artificialmente altas para de esa manera distorsionar el promedio del espacio competitivo.

Hiyassat (Hiyassat, 2001) propone realizar comparaciones mediante técnicas estadísticas entre las ofertas de una compulsas en particular con ofertas realizadas en proyectos similares en el pasado, y de no existir una historia suficiente de las ofertas participantes de la compulsas entre sí. Para lograrlo se normaliza las ofertas expresándolas como proporciones al presupuesto estimado por el patrocinante, luego compara cada proporción con la media de la muestra y para un dado margen de confianza y grado de libertad evalúa las ofertas que no superen el test usando una distribución *t-student* (Mendenhall & Beaver, 2012 14th Edition) para un determinado *margen de confianza* ( $\alpha$ ) como “*discordantes*” para a continuación eliminarlas. Como otros métodos estadísticos propuestos en la bibliografía su potencia es en ocasiones pobre y su efectividad se deteriora cuanto menor sea la cantidad de oferentes al disminuir los grados de libertad del análisis.

Los actores de la puja deben considerarse racionales, es decir que perseguirán un objetivo que maximice su función de utilidad; para el caso de los oferentes es razonable utilizar su ganancia o *margen neto* como la función de utilidad. Para el patrocinante la utilidad económica no necesariamente expresará su preferencia; sin embargo, es posible abordar el estudio con la hipótesis de simplificación que su presupuesto asignado al proyecto está en equilibrio con su función de utilidad, cualquiera sea ésta, y que la satisface; por lo tanto, cualquier reducción en el precio que pagará mejorará su percepción de utilidad y cualquier incremento lo deteriorará. Este es el enfoque propuesto por Calveras (Calveras A. G., 2004) para analizar y modelar las condiciones que empujan a un oferente a realizar propuestas anormalmente bajas o temerarias (*wild bids* en inglés). Y su principal argumento es que no ocurre por casualidad ni obedece a un comportamiento irracional, sino que por el contrario es una consecuencia racional de su situación financiera al momento de realizar la oferta. En tal sentido una empresa poco solvente respecto al proyecto sobre el que oferta puede estar tentado a no considerar contingencias para impactos negativos durante la ejecución del proyecto. Ese comportamiento en realidad parte de la convicción que de ocurrir impactos de éste tipo podrá negociar su posición, salirse del proyecto o quebrar; con mejor resultado financiero que absorber el impacto o perder la puja competitiva del proyecto.

En éstas condiciones el patrocinante puede afrontar, si su proveedor no continúa con el proyecto, costos adicionales significativos; las previsiones contractuales sobre penalidades y multas pueden resultar en una pobre mitigación frente a un contratista insolvente. Al considerar los efectos de éste comportamiento, para una determinada probabilidad de ocurrencia, la esperanza de beneficios del patrocinante se deteriora, en ocasiones significativamente. Este factor, de ser considerado podría incluso justificar una alternativa cuyo precio inicial hubiera sido más alto pero que estuviera exenta de problemas de ejecución.

La aplicación de mecanismos de filtrado de oferentes, sea a partir del análisis de sus condiciones financieras como de las características de su oferta, mitiga en parte el problema, pero no lo elimina por completo.

Calveras (Calveras A. G., 2004) propone la utilización de seguros de caución. Los mismos proporcionan al patrocinante una cobertura en caso de falla de su contratista que le permite terminar el proyecto y mitigar en grado significativo los costos adicionales emergentes. Si bien el agregado de un instrumento de cobertura incrementa los costos generales del proyecto, los que son pagados, en definitiva, por el contratista, los mismos proporcionan por un lado un calce financiero que elimina riesgos y por el otro un mecanismo para que por medio del análisis de riesgo de la aseguradora un oferente en mala situación financiera vea incrementado sus costos financieros, y por lo tanto el precio ofertado, por encima de los de sus competidores, dificultándole presentar una oferta baja y muy riesgosa.

La bibliografía recorrida hasta éste punto se aplica a proyectos tecnológicos de gran escala, mayormente en obras de infraestructura y construcciones civiles; sin embargo, es posible identificar en el campo de la industria de software similitudes que invitan a la utilización, con las adaptaciones del caso, de estos mecanismos aplicando las métricas organizacionales, niveles de riesgo técnico y particularidades exhibidas por la industria de software. En general la bibliografía en ingeniería de software refleja parcialmente el fenómeno de las ofertas anormalmente bajas en el marco de comprenderlas como fuente de problemas en la ejecución posterior de los proyectos, pero en general lo atribuye a errores de estimación o a comportamiento excesivamente optimista más que a un comportamiento deliberado originado en consideraciones de índole financiera (Jorgensen M. G., 2005).

Kagel (Kagel, 1986) a través del modelado de un caso particular del equilibrio de Nash describe fallas en el juicio durante los procesos de oferta al momento de estimar el valor, de forma que el comportamiento agresivo de los participantes termina deteriorando los márgenes de por sí reducidos de todos, de esa forma el ganador se encuentra con escasas contingencias al momento de ejecutar el proyecto para afrontar desvíos e imprevistos. Esta situación, empeora según se incrementa el número de participantes, y por sus consecuencias en los resultados de los proyectos, se lo denomina “*la maldición del ganador*” (*winner’s curse* en inglés).

Jorgensen et.al (Jorgensen M. C., 2004) (Molokken & Jorgensen, 2003) estudia éste comportamiento mediante el trabajo empírico de campo y propone posteriormente investigar mediante un modelo simple, mayormente cualitativo, el comportamiento de varios oferentes bajo éstas condiciones (Jorgensen & Carelius, 2004). Sus conclusiones muestran que el incremento del número de participantes y de la incertidumbre técnica deteriora los resultados del ganador, incluyendo extremos donde su capacidad de entregar los compromisos del proyecto resulta comprometida, el foco del estudio atribuye al exceso de optimismo la raíz del problema. Kerzner (Kerzner & Thamhain, 1986) analiza las implicancias del mecanismo de determinación de precios a ofertar en los beneficios de largo plazo, el posicionamiento estratégico del oferente y el mejor uso de los recursos, pero al mismo tiempo creando condiciones locales para un proyecto donde el resultado para el contratista no es bueno y su capacidad de entrega resulta deteriorada.

Koller (Koller, 2000) utilizar un modelado del riesgo involucrado en éste tipo de procesos de oferta basado en la simulación mediante el método de Monte Carlo, mostrando la utilidad de la técnica, en particular por los márgenes de incertidumbre amplios que muestra la industria del software. Xie (Xie, Zhang, & Lai, 2006) aborda el riesgo de las decisiones de precio ofertado desde el punto de vista de los impactos posteriores en el ciclo de vida del proyecto.

Kitchenham et.al (Kitchenham & Linkman, 2003) aborda detalladamente el problema con un modelo sistémico que expresa las relaciones dominantes entre los distintos factores intervinientes en la formación de precios bajo condiciones de puja competitiva, distribuciones estadísticas candidatas para ellos y posibles rangos de valores de calibración a ser empleados. Con su auxilio es posible estudiar el proceso de determinación del precio, el resultado del patrocinante y el resultado del proyecto y evaluar los impactos debido a la incertidumbre técnica y comercial del proyecto, la aversión al riesgo de los participantes, los efectos de la presión competitiva debido a número de participantes y el resultado en términos de valor percibidos por el patrocinante. Pickard et.al. (Pickard, TR/SE 2002) proporciona un estudio detallado de los elementos estadísticos propuestos para el modelado, el que se tomará como punto de partida durante el resto de éste trabajo.

## Objetivo de investigación

En base al marco teórico resulta atractivo estudiar, consolidar e integrar preliminarmente los modelos propuestos calibrados con datos propios de la industria de software para evaluar cuál es el posible impacto y magnitud de las conductas temerarias, cual es la sensibilidad a los factores la gobiernan y que estrategias de mitigación pueden resultar atractivas.

Se utilizará como base para el estudio el modelo propuesto por Kitchenham (Kitchenham & Linkman, 2003) con la adaptación de otros elementos presentes en la bibliografía de otros dominios de la ingeniería, en particular de obras civiles, así como la calibración para los valores de las distribuciones encontradas típicamente en líneas de base organizacionales o utilizadas en otros esfuerzos de investigación previos (Colla, 2015) (Colla, 2016). De esta forma se intentará explorar, preliminarmente, las siguientes preguntas de investigación:

1. ¿Cuál es la sensibilidad del resultado del proyecto, tanto desde el punto de vista del oferente como del patrocinante a los distintos factores que están siendo modelados?
2. ¿Cuál es el efecto de utilizar diferentes estrategias de identificación de ofertas temerarias en resultado del proyecto, tanto desde el punto de vista del oferente como del patrocinante, teniendo en cuenta diferentes escenarios?

3. En caso se utilizar un seguro de caución como principal estrategia de abordaje de los comportamientos temerarios ¿Cuál es la magnitud esperable de un seguro de caución para optimizar el resultado del proyecto desde el punto de vista del patrocinante dados los perfiles de incertidumbre típicamente encontrados en la industria del software?

### 3. Construcción del modelo

Para estudiar el problema en detalle se comienza con un modelo sistémico que toma como partida el propuesto por Kitchenham (Kitchenham & Linkman, 2003), el cual representa los principales factores intervinientes en la formación del costo y sus relaciones sistémicas. De los mismos deriva el precio ofertado, con sus incertidumbres y factores de impacto asociados. Sobre esa base se introducen al modelo los factores propuestos por Calveras que permiten modelar el resultado del proyecto ante la perspectiva de encontrar impactos “buenos” ( $K_G$ ) e impactos “malos” ( $K_B$ ) en presencia de una o más ofertas temerarias en un contexto de múltiples ofertantes, las implicancias del estado financiero inicial ( $A_i$ ) de los ofertantes y de los costos de cancelación de proyecto ( $C_B$ ). Finalmente, se agregan al modelo factores sistémicos relacionados con la mejora de productividad y perfiles de incertidumbre asociados a diferentes niveles de madurez que han sido utilizados en trabajos anteriores. Las relaciones conceptuales entre las distintas variables sistémicas puede observarse en el diagrama de relación mostrado en la Ilustración 1.

#### Modelado de oferente

La determinación del *costo del proyecto* ( $C$ ) involucra principalmente el *costo por ingeniero* ( $CPE$ ) y el *esfuerzo* ( $E$ ); por su parte este último se determina a partir del *tamaño* ( $S$ ) y la *productividad* ( $\pi$ ) según la relación dada por

$$C = CPE \times E = CPE \times \frac{S}{\pi} \quad (\text{Ecuación 1})$$

Se adopta como simplificación que los oferentes no puedan arbitrar su resultado en base al costo por ingeniero, al que se supondrá como constante y homogéneo entre los participantes. En la práctica podrán existir pequeñas eficiencias relativas entre oferentes que produzcan diferenciales de costo entre ellos, pero se asume que a los efectos del modelado son considerados por otros factores de variabilidad considerados. Por otra parte, se considera el tamaño del proyecto como constante y conocido por todos los participantes. Esta simplificación es posible a partir de la utilización de metodologías de conteo funcional (Matson, Barrett y Mellichamp 1994) derivadas directamente desde los requerimientos a los que todos los oferentes tienen igual acceso. La estrategia de modelado diferenciará a cada oferente a partir de su productividad, la cual depende esencialmente de su experiencia, competencias, recursos humanos, ambiente y procesos utilizados para el desarrollo. La productividad puede ser además mejorada tanto en su magnitud como en su certidumbre mediante la adopción de prácticas genéricas y específicas como las recomendadas por los modelos de referencia como SEI-CMMI™ (CMMI 2010) o COBIT (COBIT 5 2018) entre otros. Podrá distinguirse (Lawlis, M. y B. 1995) la certidumbre en los resultados de grupos de “baja madurez”, es decir que no abrazan mejores prácticas de ingeniería y de “alta madurez” los que si lo hacen.

Siguiendo el modelo propuesto por Kitchenham, ya citado, al costo deberá agregarse el margen de ganancia, factores de contingencia técnica, comercial y competitiva para lograr el precio ofertado ( $P^*$ ) según lo mostrado en la

$$P^* = C \times (1 + GP_p) = C \times (1 + M_g + \iota + \eta) \quad (\text{Ecuación 2})$$

El *margen neto* ( $GP_p$ ) estará formado por el *margen bruto* ( $M_g$ ), la *importancia del proyecto* ( $\iota$ ) y el *nivel de competencia* ( $\eta$ ). El margen bruto se determina en función de cuál es la variación de resultados que el oferente acepta incurrir con un dado margen de certidumbre para obtener una rentabilidad objetivo, en el modelo se asumirá que el mismo es inherente al riesgo del proyecto en la industria y que es compartido por todos los oferentes. Tanto la importancia del proyecto como la percepción del nivel de intensidad de competencia serán factores que cada oferente estimará por separado en función de su propia experiencia, situación corriente y visión estratégica del proyecto; los mismos pueden impulsar incrementos o reducciones del margen neto. Es claro que el deseo del oferente respecto a que el margen neto sea lo más alto posible estará arbitrado a la baja tanto por el presupuesto que el patrocinante está dispuesto a pagar por el proyecto como las ofertas de sus competidores.

Un oferente que actúe racionalmente no querrá perder dinero y pondrá un margen que lo cubra adecuadamente de las variaciones desfavorables de costo ( $K_B$ ) que puede anticipar para el tipo de proyecto, aunque en ocasiones las variaciones podrán ser también positivas o favorables ( $K_G$ ) y en esos casos el oferente podrá obtener ganancias extraordinarias. En la práctica si un oferente tiene respaldo financiero suficiente para absorber los impactos negativos podrá aspirar a generar una canasta con otros proyectos de manera que se compensen pérdidas con ganancias para que, en promedio, obtenga la rentabilidad esperada considerando toda su operación. Sin embargo, Calveras (A. G. Calveras 2002) propone considerar que los oferentes que tengan una situación financiera ( $A_i$ ) que no sea suficiente para absorber impactos negativos decidirá disminuir deliberadamente sus márgenes asumiendo en forma optimista que no los tendrá, incluso que tendrá resultados positivos extraordinarios. Si bien puede lucir como una actitud “irracional” por la exposición financiera que se genera con ese comportamiento, en realidad asume que en caso de impactos negativos se verá imposibilitado de finalizar el proyecto, o

incluso que deba cesar su operación comercial y eso le será más conveniente que absorber las pérdidas. Para modelar éste comportamiento se corrige el precio ofertado en ésta condición:

$$P^*(C, A_i, K_g) = C^* = C - K_g + \frac{q}{1-q} A_i \quad (\text{Ecuación 3})$$

(para la condición  $0 \leq A_i < K_B$ )

Siendo la *probabilidad de impacto negativo* ( $q$ ) las chances que aparezcan impactos de costo desfavorables, se mantendrá como precio ofertado el determinado en la (Ecuación 2) para la condición  $A_i \geq K_B$ . En tal condición si el oferente afronta impactos negativos que excedan su solvencia no podrá finalizar el proyecto.

En el caso que el patrocinante, en prevención de los impactos negativos que éste comportamiento le puede acarrear decida mitigar el comportamiento temerario exigiendo un *seguro de caución* ( $L$ ) el costo del mismo deberá ser agregado al precio de todos los oferentes, independientemente del estado financiero individual de cada uno, quedando su precio ofertado entonces como:

$$P^* = C^* + (1 + r_i)^t L \quad (\text{Ecuación 4})$$

Donde el término agregado representa el costo financiero cobrado por la aseguradora por extender el seguro de caución ( $L$ ) por un período igual al de *entrega del proyecto* ( $t_d$ ) a una tasa de descuento o prima ( $r_i$ ) particular para cada oferente y que dependerá de su estado financiero del mismo y su capacidad según la aseguradora para finalizar exitosamente el proyecto con lo que las diferencias en el riesgo se traducen en un costo de oportunidad más elevado incluido en la prima (Brealey y Myers 2016); es implícito que si el oferente tiene una situación financiera muy deteriorada puede incluso no obtener seguro. El tiempo calendario de entrega expresado en unidades de tiempo compatibles con el esfuerzo se modelará mediante la relación simple con el esfuerzo (Walston 1977) como:

$$t_d = \sqrt{E} \quad (\text{Ecuación 5})$$

El seguro de caución penalizará en forma selectiva a los oferentes, siendo mayor el impacto para los casos de mayor debilidad financiera o menor capacidad de entrega del proyecto; y mitigará por lo tanto comportamientos temerarios, pues el precio se incrementará en mayor proporción en los oferentes más propensos a incurrir en éste comportamiento.

Una vez durante la ejecución el contratista tendrá *costos reales* ( $C_r$ ) que seguramente diferirán de los planeados, para modelar esta situación se utiliza el concepto de *cost performance index* (CPI) para caracterizar la variación resultante:

$$C_r = \frac{C^*}{CPI} \quad (\text{Ecuación 6})$$

Lawlis propone perfiles de distribución típicos en el CPI de acuerdo a la madurez de proceso del contratista, se usa esto para incorporar al modelo los comportamientos y confiabilidad de resultados entre oferentes de “*baja madurez*” y “*alta madurez*” de manera de estudiar como éste factor modifica la interacción de los distintos factores y resultados. El contratista verá variar su *margen de ganancia real* ( $GP_r$ ) entonces según los costos reales que obtenga

$$GP_r = \frac{(P^* - C_r)}{P^*} \quad (\text{Ecuación 7})$$

Es natural esperar que el contratista busque que éste resultado sea lo más parecido posible al dado por la (Ecuación 2) siendo toda diferencia percibida como una *variación de rentabilidad* ( $\Delta GP$ ). (Ecuación 2)

### Modelado del patrocinante

Es necesario que el modelo evalúe también la situación desde la perspectiva del patrocinante, quien ante una puja competitiva entre un *número de oferentes* ( $n$ ) elegirá la oferta de precio ganador ( $P^*_w$ ) como aquella que le entregue más valor. Usualmente, y a igualdad de condiciones de admisibilidad de los oferentes, preferirá aquella cuyo precio sea el menor de todas las ofertas que recibió.

$$P^*_w = \min(P^*_1, \dots, P^*_n) \quad (\text{Ecuación 8})$$

La función de *utilidad del patrocinante* ( $U_s$ ) podrá variar significativamente entre distintas organizaciones y proyectos; puede incluso no regirse por parámetros económicos sino otros relacionados con estrategia, utilidad social o necesidad legal. Sin embargo, puede aproximarse el *valor del proyecto* ( $V$ ) desde la perspectiva del patrocinante como el presupuesto que está dispuesto a invertir en él. Bajo esta definición el patrocinante percibirá como utilidad todos los ahorros que pueda obtener como parte de la puja competitiva entre oferentes, tal que:

$$U_s = V - P_w^* \quad (\text{Ecuación 9})$$

Para el patrocinante puede ser aceptable admitir precios por encima de su presupuesto dentro de márgenes razonables. De esa forma el oferente asignará su presupuesto seguramente partiendo de la evaluación técnica del esfuerzo necesario para completar el proyecto y una estimación de cuáles son los márgenes de ganancia usuales en la industria para ese tipo de proyecto que los contratistas utilizarán. Si el oferente, devenido contratista al serle aceptada su oferta, tiene variaciones de costo favorables o desfavorables durante la ejecución, el patrocinante en principio mantiene su función de utilidad y no es afectado por ellas; este mecanismo luce, en principio, como una transferencia de riesgo del patrocinante al contratista. Sin embargo, si la variación de costo desfavorable excede la capacidad financiera del contratista para absorberlos se encontrará en una situación donde no podrá continuar el proyecto, y por lo tanto el patrocinante recibirá un impacto. Si ésta situación ocurre el patrocinante deberá incurrir en gastos, en ocasiones considerables, para absorber las variaciones negativas para a continuación completar el proyecto por sí mismo o mediante otro contratista. El costo del proyecto incorporará en éste escenario no solamente los esfuerzos necesarios para completarlo sino costos por demoras, transaccionales, financieros, legales e incluso penalidades que deba abordar con sus propios patrocinantes subiendo en la cadena de valor. Esa situación puede ser modelado representando la utilidad del patrocinante como:

$$U_s = V - (P_w^* + K_B) - C_B \quad (\text{Ecuación 10})$$

Es decir, no solo tendrá que afrontar el costo mismo del proyecto, sino también de la variación desfavorable ( $K_B$ ) supuesto que sea técnicamente justificable y además los costos transaccionales de la falla del contratista original ( $C_B$ ). Naturalmente el patrocinante querrá proteger su función de utilidad mediante acciones que hagan que su *variación de utilidad* ( $\Delta U_s$ ) sea lo menor posible, pudiendo usarse ese factor como representación del impacto de las distintas estrategias. En caso que el patrocinante decida mitigar sus riesgos usando una estrategia de adjudicación al menor precio, pero exigiendo

un seguro de caución deberá estimar la magnitud del mismo. Calveras propone que la magnitud sea ( $L_{\max} \geq \frac{K_B}{(1-q)}$ ) (Ecuación 11)

$$L_{\max} \geq \frac{K_B}{(1-q)} \quad (\text{Ecuación 11})$$

Esta magnitud será conservadora y cubrirá el peor caso; por ello aún en el peor escenario cualquier incremento del seguro de caución por encima del caso más probable solo incrementará los costos del proyecto sin mejorar la cobertura. El *valor óptimo de caución* ( $L_{\text{opt}}$ ) será aquel que cubra estrictamente el impacto económicamente los impactos y puede ser determinado mediante evaluación de escenarios. Por otra parte, la aseguradora solicitará al contratista un premio adicional sobre la *tasa de descuento base* ( $r_0$ ) como representación del costo de dinero que lo proteja de los riesgos especiales que el contratista incurra al entregar el proyecto. Si el contratista es solvente no será necesario éste premio y la tasa de descuento nominal ( $r_0$ ) le será aplicada, pero si no puede justificar tener una solvencia financiera consistente con la magnitud y el riesgo del proyecto la tasa de corte ( $r_i$ ) que le será solicitada será más alta y dada por (A. G. Calveras 2004):

$$r_i = -\frac{q}{K_B - L(1-q)} A_i + r_0 + q \quad (\text{Ecuación 12})$$

Para la condición de insolvencia ( $A_i=0$ ) la magnitud del premio requerido será esencialmente la tasa del mercado más el riesgo del proyecto.

### Planteo de modelo sistémico

Los conceptos de las secciones precedentes se integran en el modelo sistémico mostrado en la Ilustración 1. Si bien las ecuaciones discutidas en Construcción del modelo pueden ser resueltas por métodos analíticos para un determinado conjunto de valores de los parámetros, su utilidad será en tal caso limitada debido a la naturaleza simplificada de los modelos y a la dispersión de los parámetros utilizados. Incluso dentro de una misma organización con métricas cuyas líneas de base son estables y sus procesos puedan ser considerados estadísticamente capaces (Pyzdek y Keller 2010) se observarán dispersiones importantes entre los parámetros posibles entre distintos proyectos, aun siendo funcionalmente similares.

Será útil entonces modelar los factores intervinientes como variables aleatorias que respondan a determinadas distribuciones y parámetros estadísticos, los que serán extraídos de la bibliografía, de líneas de base organizacionales de organizaciones reales o mediante estimaciones basadas en experiencias que luzcan razonables al contexto de aplicación del modelo. Estas distribuciones, y por sobre todo sus valores, no son más que una caracterización preliminar con datos consistentes con la industria del software para evaluar la factibilidad de aplicación de los modelos, éstos valores podrán ser cambiados con otras líneas de base organizacionales o en respuesta a aspectos específicos de grupos de proyectos para plantear otros escenarios.

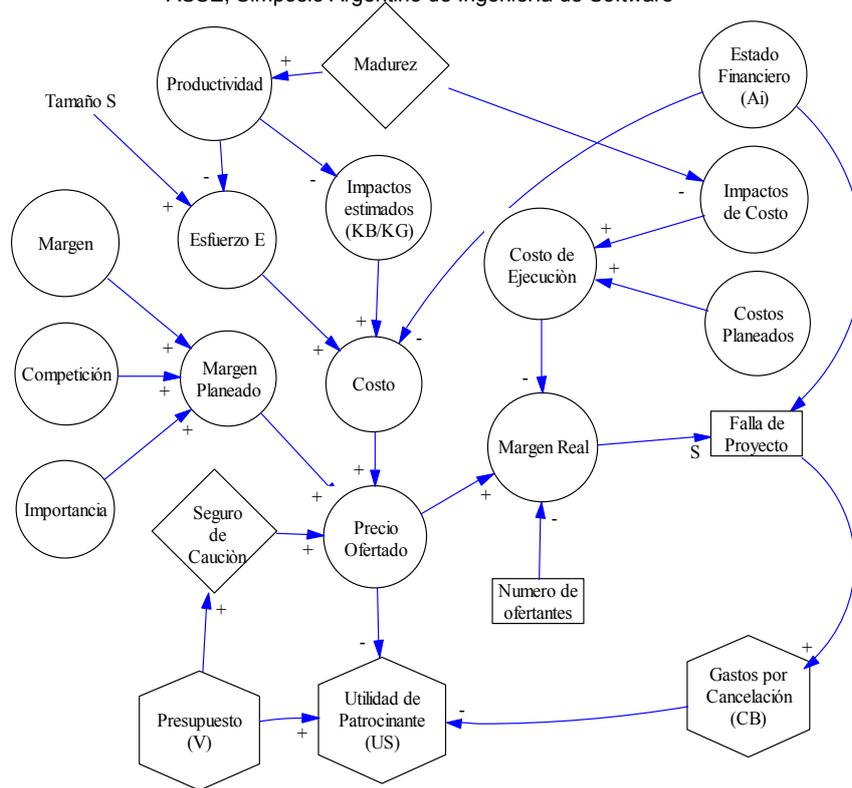


Ilustración 1 Modelo sistémico para puja competitiva

Los mismos configuran una línea base de distribuciones que permite adaptar lo recomendado por la bibliografía para los diferentes valores de interés, en especial cuando se extrapola desde valores encontrados en otras industrias y con otras tecnologías involucradas. El número de proyectos involucrados excede una docena en condiciones competitivas de producción de software por lo que las distribuciones se asumen representativas.

Variable	Símbolo	U.M.	Distr.	Min	Med/μ	Máx
Tamaño/Complejidad de Código	$S_0$	PF	Spike		500	
Estado financiero inicial	$A_i/P^*$	%	Uniforme	0,1		4
Margen de ganancia	ML	%	Triangular	21	30	36
Cost Performance Index (Madurez baja, $\sigma=0,21$ )	CPI	ratio	Normal	0,31	0,90	1,08
Cost Performance Index (Madurez alta, $\sigma=0,16$ )			Normal	0,59	0,97	1,63
Gastos de interrupción de proyecto	$C_B/P^*$	ratio	Uniforme	0,075	--	0,4
Productividad Desarrollo (incertidumbre baja)	$\pi$	Horas/PF	Beta	14,4	--	17,6
Productividad Desarrollo (incertidumbre media)				11,2	--	19,2
Productividad Desarrollo (incertidumbre alta)				4,8	--	20,8

Los otros valores utilizados para establecer la simulación fueron  $CPE=1, r=9\%, q=0,5, K_B=K_G$ . PF=Puntos de Función. Distribución beta  $\alpha=\beta=2$ . Nivel de competición ( $\kappa$ ) variable aleatoria de distribución uniforme  $[0,1]$  impacta en nivel de margen  $\kappa < 0,01$  reduce margen en 5%,  $0,01 \geq \kappa < 0,8$  afecta margen en 0%  $\kappa \geq 0,8$  aumenta margen en 7%. Nivel de importancia ( $i$ ) variable aleatoria de distribución uniforme  $[0,1]$  impacta en nivel de margen  $i < 0,1$  reduce margen en 7%,  $0,1 \geq i < 0,5$  reduce margen en 3%,  $i \geq 0,5$  no afecta margen.  $\alpha=0,05$ , grados de libertad (df) participantes menos uno.

Tabla 1 Tabla de parámetros organizacionales utilizados en el modelado

La (Tabla 1) da los valores utilizados para los distintos parámetros; cada organización puede reemplazarlos con otros que surjan de sus propias líneas de base de métricas sin que el modelo pierda generalidad.

Para no introducir distorsiones en la evaluación producidas por la disparidad en el tamaño de los proyectos se utilizarán valores de costo equivalentes al esfuerzo del proyecto, tal como si el costo por ingeniero fuera unitario. Se adoptan las distribuciones uniformes para el nivel de importancia y nivel de competitividad según lo sugerido por Kitchenham. La productividad se modela según la distribución de una función beta entre valores mínimo y máximos hallados típicamente en la industria (con  $\sigma=\beta=2$ ) según lo propuesto por Jorgensen.

Siguiendo lo sugerido por Calveras se utilizan valores discretos y paramétricos durante la ejecución del modelo para  $A_i, C_B, r_0, q, K_G$  y  $K_B$ , todos las magnitudes que representen costo se normalizan al esfuerzo del proyecto para estudiar mejor los comportamientos cualitativos. Finalmente, los valores de CPI para el caso de organización de baja y alta madurez se toma lo propuesto por Lawlis aproximando la dispersión de resultados como si fueran caracterizados por una distribución

normal con diferentes momentos estadísticos según la madurez. Para el margen se utiliza la distribución triangular a partir de sus valores extremos y la mediana de la distribución según lo recomendado por Sargent esta distribución es la indicada como estrategia de modelado cuando no hay una distribución claramente definida (Sargent 1998).

## 4. Validación y Verificación

El modelado discutido en las secciones previas ha sido validado parcialmente a partir de la comparación de sus resultados con la gestión cuantitativa de diferentes proyectos relevados de la bibliografía y la experiencia del autor.

Posiblemente el aspecto más difícil de utilizar un modelo para estudiar un problema sobre el que hay poca bibliografía previa es verificar su buen funcionamiento y validar su utilidad para representar adecuadamente el objeto de estudio (Sargent 1998). Para lograr ese objetivo se emplea el modelo en situaciones simuladas de forma de estudiar la magnitud de los resultados, y compararlos con rangos de valores obtenidos de líneas de base de métricas reales reportadas por organizaciones, datos de la industria y estimaciones basadas en juicio de experto. En ocasiones hay que recurrir a test estadísticos para completar el procedimiento para poder tener en cuenta las dispersiones esperables en los mismos para proyectos típicos.

La validación realizada muestra que los resultados son consistentes con lo reportado en la bibliografía y consistentes con la experiencia práctica; lo que invita a que sean utilizados para realizar análisis y extraer conclusiones preliminares en las cuestiones bajo investigación. Al mismo tiempo, al multiplicarse los escenarios que potencialmente pueden ser evaluados es conveniente priorizar el análisis y segregar acciones a ser abordadas en trabajos futuros.

Para tener en cuenta los rangos de valores posibles en los distintos parámetros se recurre a la utilización de técnicas de simulación estocástica utilizando el método de Montecarlo, lo que por su parte permite estudiar con mejor detalle las relaciones, las interacciones entre variables y sensibilidad del resultado a las distintas variables.

Para evaluar el modelo los pasos realizados fueron (Sargent 1998):

- *Evaluación sintáctica*, mediante el chequeo manual que las relaciones empleadas están correctamente formuladas, que utilizan los valores paramétricos apropiados y se obtienen los resultados esperados antes estímulos específicos de prueba sobre una base unitaria de prueba.
- *Evaluación semántica*, se fuerzan valores al modelo que producen resultados pronosticados por la bibliografía o la experiencia y se observa que los resultados obtenidos sean consistentes.
- *Plan de test*, se utilizó un conjunto de casos de prueba definido para evaluar la sensibilidad y estabilidad en presencia de cambios sistémicos en los valores de entrada, también su habilidad para manejar valores fuera de escala.
- *Test de comportamiento*, reproducir a igualdad de valores los resultados de los modelos utilizados por la bibliografía, observando si el modelo, utilizando datos de calibración de la industria, reproduce la tasa de fallas de proyectos y las mejoras de comportamiento son consistentes con los datos de empíricos disponibles sobre adopción de modelos de calidad para mejorar la madurez de proceso.

Como resultado se puede establecer que los resultados son consistentes con la bibliografía de otras industrias y con la experiencia práctica en la industria de software en ejecución de proyectos que involucren participación en procesos de compulsión, aunque esa es una forma muy débil de validación. Para reforzar éste aspecto se utiliza el marco de evaluación más riguroso de modelos conceptuales propuesto por Kitchenham y, al igual que esa fuente, se aplica cierta familiaridad con el modelo sistémico de Abdel-Hamid (Abdel-Hamid y Madnick 1991) para evaluar resultados. De esa forma se obtiene una razonable confianza que el modelo es útil para evaluar con una aproximación preliminar los fenómenos bajo estudio. La cantidad limitada de escenarios evaluados es una amenaza a la validez que solo puede ser abordada perseverando en la evaluación futura con otros parámetros alternativos y líneas de base organizacionales diferentes.

## 5. Evaluación de escenarios

Los diferentes escenarios pueden ser analizados desde múltiples puntos de vista, pero debido a restricciones de espacio se selecciona observar la perspectiva del oferente utilizando la diferencia entre el margen neto planeado y obtenido durante la ejecución del proyecto o *variación de margen neto* ( $\Delta GP\%$ ) como representativa del impacto que le implica el proyecto. En base a éste factor y la situación financiera del contratista ( $A_i$ ) al comienzo del proyecto se modelan condiciones de quiebre de proyecto, representada por la *proporción de proyectos que no terminan* ( $\phi$ ). Por otro lado, el punto de vista del patrocinante se estudia a partir de la *variación de su función de utilidad* ( $\Delta U_s\%$ ) que representa que tan alejado es el resultado final del proyecto respecto al que había planeado, esta magnitud aumentará cuando los precios que deba pagar por el proyecto sean menores que los originalmente presupuestados y se deteriorará en proporción a los costos extras que el proyecto exija para su finalización.

Como estrategias de adjudicación se utilizan adoptar el menor precio ofertado, agregarle al menor precio un seguro de caución, seleccionar los oferentes basado en el criterio de Hiyassat y seleccionar la oferta ganadora por cercanía al precio promedio. De esa forma es posible comparar las bondades relativas de cada estrategia para mitigar los comportamientos de oferta temeraria y los impactos en las utilidades de los participantes. Para cada escenario se adoptan perfiles de parámetros y se realizan evaluaciones utilizando el método de Montecarlo (ver Tabla 1).

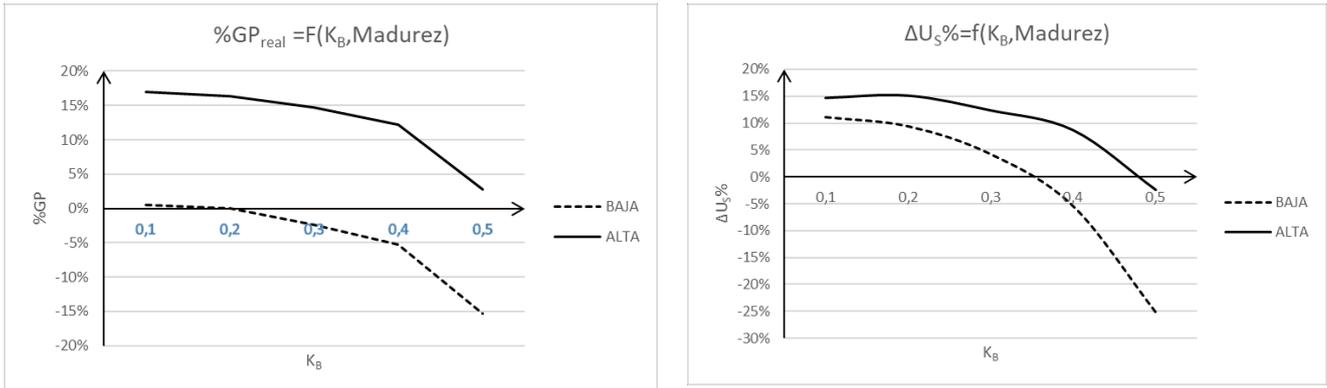


Ilustración 2 Evaluación del comportamiento respecto al impacto negativo en el proyecto del margen de ganancia del oferente (izq.) y la variación de utilidad media del patrocinante (der) para diferentes magnitudes del impacto respecto al total del proyecto para diferentes niveles de madurez de los contratistas involucrados ( $n=10, q=0,5, r=9\%$ , 1000 iteraciones de simulación)

El primer escenario compara los resultados tanto para contratista como patrocinante de seleccionar contratistas con baja o alta madurez de procesos para distintas magnitudes de impacto negativo ( $K_B$ ) en el proyecto expresado como proporción del esfuerzo (costo) total (ver Ilustración 2). Se observa que las contratistas con mayor madurez pueden absorber impactos negativos en los costos de proyecto más elevados con deterioros menores de su margen, pero al mismo tiempo que ante los mismos escenarios la utilidad del patrocinante resulta mejor protegida.

En el segundo escenario se explora la relación entre los resultados de oferente y patrocinante respecto a la magnitud del impacto negativo en los costos del proyecto para distintas estrategias de elección de la oferta ganadora (ver Ilustración 3)

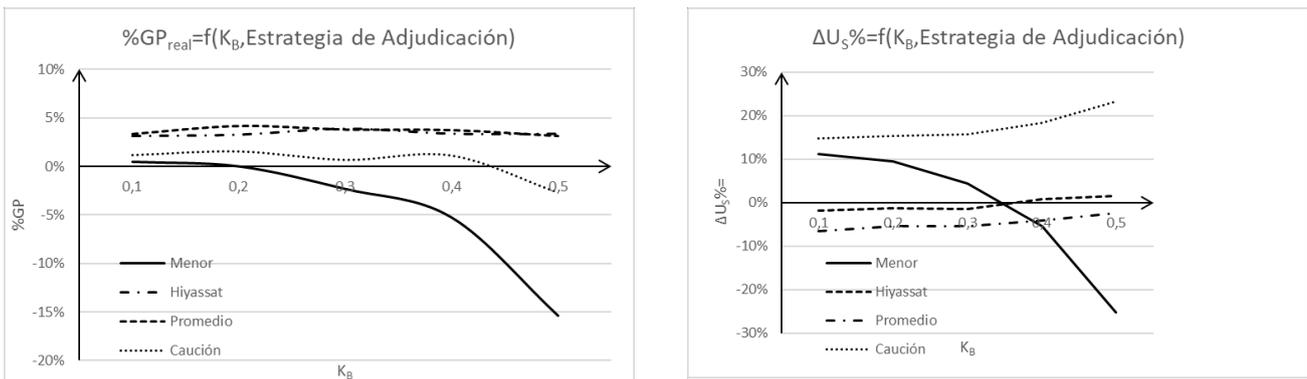


Ilustración 3 Sensibilidad del margen real del oferente (izq.) y de la función de utilidad del patrocinante (der) al impacto de proyecto y estrategia de selección de oferentes ( $n=10, q=0,5, r=9\%$ , madurez baja, 1000 iteraciones de simulación)

En el caso de oferta de menor valor se observa un deterioro significativo de los márgenes del contratista según la magnitud del impacto, cosa que no debería importar al patrocinante excepto porque también se deteriora su función de utilidad significativamente al empezar a ser impactado por costos no planeados de proyecto que debe afrontar. Las estrategias de Hiyassat y precio promedio preservan los márgenes del contratista, pero deteriorando la función de utilidad del patrocinante, principalmente porque seleccionan ofertas más altas como ganadoras. Finalmente, la estrategia de seleccionar el menor precio con cautión continúa seleccionando un precio más conveniente protege al mismo tiempo la función de utilidad del patrocinante. Se observa que para el caso más extremo estudiado ( $K_B=0,5$ ) en el 15,5% de las iteraciones el oferente de menor valor cambia según se pida o no seguro de cautión, mostrando el efecto de la pérdida de competitividad que acarrea sus costos financieros en oferentes de baja solvencia técnica y financiera.

Al mismo tiempo se observa (ver Ilustración 4) que la magnitud de la cautión óptima, como proporción del costo de proyecto, se incrementa en forma casi proporcional con el impacto esperado en el proyecto ( $K_B$ ).

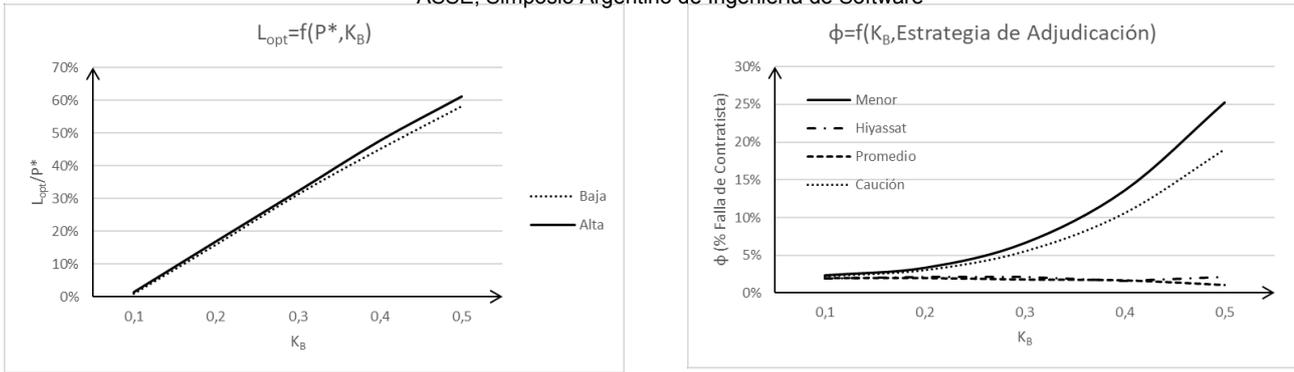


Ilustración 4 Evaluación para distintos niveles de la caución máxima en función de la madurez del contratista (izq.) y de la proporción de falla del proyecto (der) en función de la estrategia de adjudicación ( $n=10, q=0,5, r=9\%$ , 1000 iteraciones de simulación)

Se observa que la caución óptima depende fundamentalmente del nivel de incertidumbre, lo que en retrospectiva es natural puesto que su principal función es proteger al patrocinante independientemente de las características del contratista.

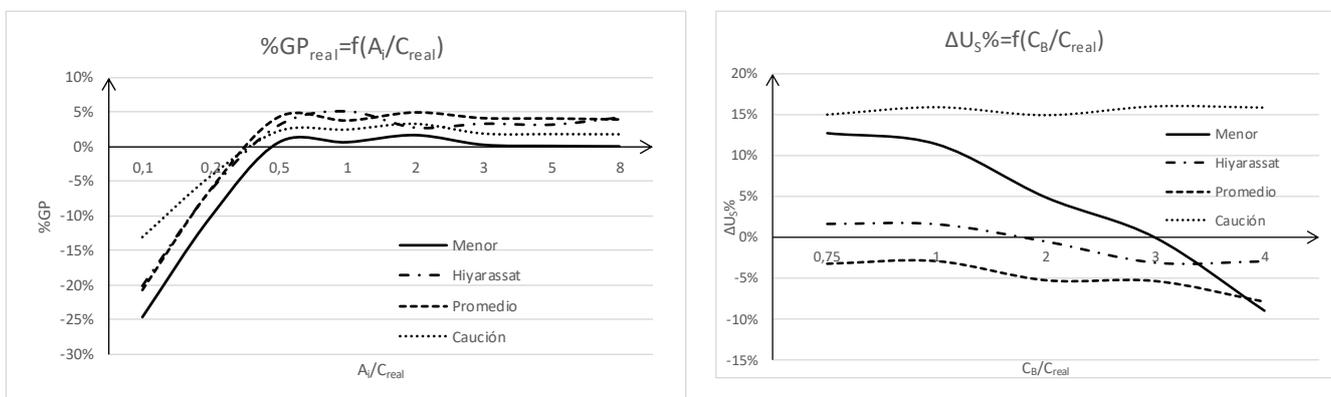


Ilustración 5 sensibilidad de la ganancia de contratista para distintos escenarios de estado financiero al comienzo del proyecto (izq.) y de la utilidad del patrocinante con el costo de cancelación de proyecto (der) en función de la estrategia de selección de la oferta ganadora ( $n=10, q=0,5, r=9\%$ , 1000 iteraciones de simulación)

Por otra parte la estrategia de adjudicación por menor precio con o sin caución no intentan proteger otra cosa que la función de utilidad del patrocinante por lo que la proporción de proyectos fallidos crece rápidamente con la magnitud de impactos negativos, mientras que los métodos de adjudicación tendientes a robustecer la selección del contratista como Hiyassat y promedio mantienen bajo control la tasa de fallas aunque como se vio anteriormente deterioran levemente la función de utilidad del patrocinante.

Dos escenarios adicionales exploran como es el comportamiento desde el punto de vista del margen del contratista en función de la relación entre su estado financiero ( $A_i$ ) al comienzo del proyecto y por otra parte se observa la evolución de la utilidad del patrocinante en función de la relación de los costos de falla del contratista ( $C_B$ ). En ambos casos se comparan los resultados para distintas estrategias de selección de la oferta ganadora (ver Ilustración 5). Puede observarse además que es útil requerir que el proyecto represente para el contratista menos que un 30% de su patrimonio total, de hecho, cuanto más grande es la relación  $A_i/C_{real}$  más estable es su comportamiento financiero durante el proyecto.

En éstos escenarios puede observarse que los distintos métodos de selección protegen al patrocinante, en especial cuando el estado financiero inicial es comparable a la magnitud de los posibles impactos del proyecto. Por otra parte, la función de utilidad del patrocinante es protegida en mejor medida por la imposición de cláusulas de caución, sobre todo en la medida que la naturaleza del proyecto produzca costos de cancelación o fracaso del proyecto grandes con respecto a su presupuesto. Los mecanismos de selección de contratista tienen arbitran situaciones estables también, pero por la vía de evitar la falla de los proyectos en primer lugar.

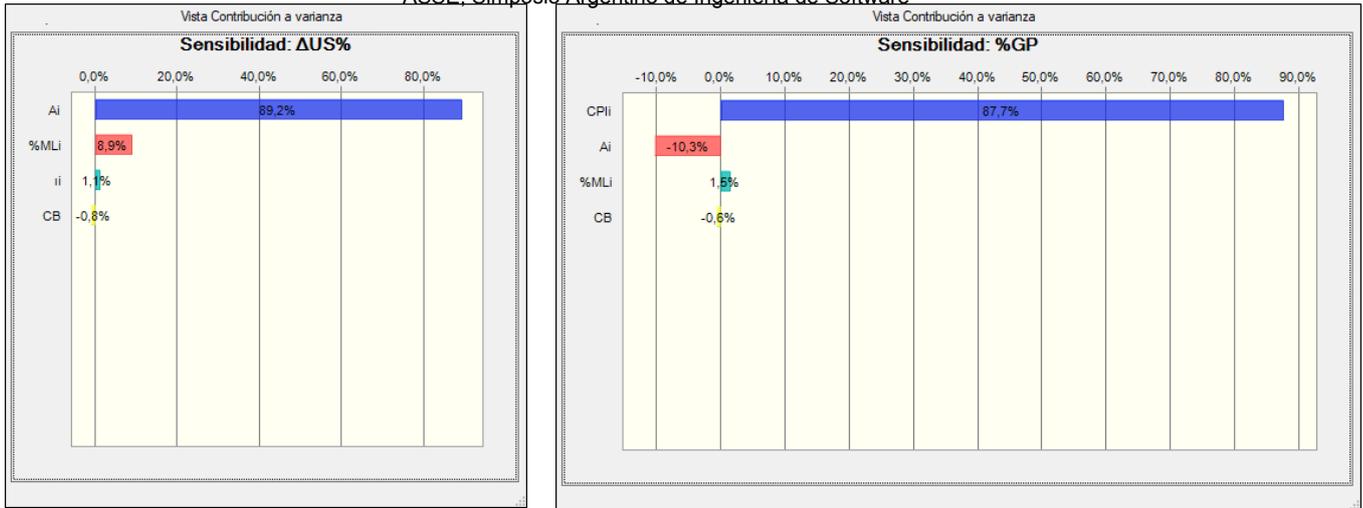


Ilustración 6 Distribución de utilidad del patrocinante y variación de ganancia para oferente en el caso de ausencia de competición ( $n=1, q=0,5, r=9\%$  madurez baja, 1000 iteraciones de simulación)

Finalmente, se utiliza el modelo en un escenario donde participa solo un oferente, el propósito de ésta evaluación es poder analizar con detalle las sensibilidades entre los resultados de oferente y patrocinante con las variables del modelo. En Ilustración 6 puede observarse que la variable de mayor influencia para el patrocinante es el estado patrimonial del contratista seleccionado, seguido por su margen de ganancia. Este último es un resultado algo curioso y que requerirá validación anterior, pero es intuitivo hasta cierto punto, existirá interés en el patrocinante en que el margen del oferente sea suficiente para que pueda terminar el proyecto pues la existe una correlación entre ésta situación y que termine bien el proyecto. Por parte del contratista la mayor sensibilidad es poder ejecutar el proyecto de acuerdo a lo planeado con la menor cantidad de desvíos en costo que sea posible. El análisis de la razón por la cual existe una sensibilidad inversa con el estado patrimonial se encuentra en que cuando ésta es menor aparecen situaciones de mayor margen de ganancia debido al comportamiento temerario.

## 6. Conclusiones

Para extraer conclusiones preliminares de los escenarios evaluados se retomarán las preguntas de investigación formuladas al comienzo del trabajo.

1. ¿Cuál es la sensibilidad del resultado del Proyecto, tanto desde el punto de vista del oferente como del patrocinante a los distintos factores modelados?

Al no haber puja competitiva es probable que la erosión de márgenes para el oferente es menor, pues no hay presión competitiva. Por lo tanto, el resultado del proyecto depende fundamentalmente de las variaciones de costo que tenga el contratista durante la ejecución, y en consecuencia se hace más importante como factor de mitigación el uso de prácticas de ingeniería de software que le permitan planear y gestionar el proyecto en mejor forma, es decir, su madurez de proceso.

2. ¿Cuál es el efecto de utilizar diferentes estrategias de identificación de ofertas temerarias en resultado del Proyecto, tanto desde el punto de vista del oferente como del patrocinante, ante diferentes condiciones tales como magnitud del impacto negativo en costos, estado financiero de los oferentes y magnitud del impacto en el patrocinante en caso de falla del Proyecto?

La ejecución del modelo en distintos escenarios permite obtener comportamientos cualitativos tales como los reflejados por la bibliografía para otras industrias, pero con magnitudes de respuesta consistentes con lo reflejado en la bibliografía para la industria de software. El criterio de adjudicar el proyecto al oferente de menor precio perjudica tanto al contratista seleccionado como al patrocinante. En el primer caso por negarle margen para afrontar variaciones de costo y por posicionarlo en un contexto donde aumenta la probabilidad que se vea imposibilitado de finalizar el proyecto. Si esta oferta responde, además, a un patrón de comportamiento temerario del oferente es importante encontrar mecanismos de mitigación en el mejor interés del patrocinante. En el segundo caso porque el resultado del contratista es indiferente para el patrocinante siempre que el proyecto pueda ser terminado, cuando no lo es entonces el patrocinante afronta costos extras que deterioran su utilidad. Tanto los criterios de Hiyassat como valor promedio protegen al contratista evitando que sea seleccionado con ofertas demasiado bajas bajo la sospecha que puedan ser temerarias, pero no protege en igual medida al patrocinante. Por otra parte, los instrumentos para detectar una oferta temeraria de una que no lo es son imperfectos, por lo que una oferta baja puede corresponder a razones tales como mayor eficiencia, arbitraje de costos o mejor comprensión del proyecto. La estrategia de asignar al menor precio, pero agregando un seguro de caución protege mayormente al patrocinante, pero también es beneficiosa para el oferente,

toda vez que si su oferta es genuinamente competitiva le permite seguir siendo seleccionado penalizándolo en proporciones similares que al resto de sus competidores. Todos los escenarios se deterioran cuanto mayor sea el posible impacto negativo en costos, es decir, cuando la incertidumbre del proyecto se hace más grande. La asignación del proyecto a proveedores con alta madurez, expresado como adopción de prácticas de ingeniería de software, protege tanto a éstos como al patrocinante en mejor medida pues induce los mecanismos de planeamiento y control que permiten manejar con mayor eficacia el proyecto y obtener menos resultados adversos durante su ejecución. Está claro que una situación de incertidumbre en los resultados del proyecto que conduzca a impactos de costo daña a todos los participantes, por lo que es el mejor interés de todos lograr reducir la incertidumbre en la mejor medida posible. Los resultados preliminares permiten visualizar la importancia de explorar métodos para introducir el seguro de caución como instrumento para mejorar los resultados obtenidos por la industria de software, así como perseverar en la aplicación de mecanismos para inducir a las empresas contratistas que realicen inversiones en mejorar la madurez de sus procesos y prácticas como una forma de mejorar su admisibilidad en pujas competitivas. Al mismo tiempo se deduce que no hay estrategias eficaces para que el patrocinante transfiera completamente el riesgo al oferente y que por lo tanto es relevante que tome recaudos para realizar la selección de las ofertas ganadoras con mecanismos de inspección, arbitraje y aseguramiento del valor.

3. *¿Cuál es la magnitud esperable de un seguro de caución para optimizar el resultado del Proyecto desde el punto de vista del patrocinante?*

Se observa que para una magnitud de impacto consistente con los datos de la industria ( $K_B=0,3$ ) se requiere un seguro de caución óptimo del orden del 30 al 35%, la industria de obras civiles estatales en USA requiere un seguro de caución equivalente al 100% de la obra, lo que es una práctica que de existir los instrumentos financieros a costo razonable sería de enorme ayuda a la industria del software. El seguro de caución protege económicamente al patrocinante, pero es difícil capturar todos los impactos que un proyecto fracasado le puede acarrear, por lo que quizás se debiera perseguir minimizar el fracaso de proyectos aún a expensas de alguna reducción en la magnitud de la utilidad esperada.

El trabajo expone contribuciones en términos de observar que los comportamientos temerarios se evidencian también cuando se exploran valores y parámetros propios de la industria en condiciones de simulación. También se realizan aportes en cuanto a consolidar bibliografía dispersa sobre fenómenos observados en otros dominios tecnológicos, aplicar conceptos no del todo frecuentes en la industria del software tales como la utilización de cauciones, explorar acciones de mitigación infrecuentes tales como la propuesta por Hiyassat o utilización de valor promedio de oferta. Finalmente se estiman preliminarmente posibles rangos de valores para límites de capacidad financiera de los oferentes y seguros de caución para mitigar comportamientos temerarios.

### **Amenazas a la validez**

Siendo un trabajo preliminar, donde se integran bibliografías desde diferentes industrias y proyectos, es necesario tomar los resultados con cautela y perseverar en medidas ulteriores de validación. Las distribuciones y parámetros utilizados para la ejecución de escenarios son susceptible de presentar variaciones dependiendo si el riesgo tecnológico es diferente al asumido. Adicionalmente, la simplificación de tomar un tamaño de proyecto único para la evaluación aconseja realizar comprobaciones ulteriores respecto a posibles sensibilidades con éste factor de los comportamientos encontrados.

### **Trabajo futuro**

Es necesario trabajar sobre las amenazas a la validez identificadas en el modelo y perseverar en sus parámetros de calibración, incluyendo escenarios adicionales con casos adicionales derivados de la industria. Los comportamientos contrarios a la intuición tales como el patrocinante interesado en margen de ganancia del contratista y mayor margen cuando el estado patrimonial es más débil son interesantes y si bien la respuesta numérica del modelo puede confirmarse como correcta es necesario perseverar en evaluar con más detalle éstos comportamientos. Razones de espacio y tiempo han limitado severamente los escenarios explorados en éste trabajo, incluso algunos han sido realizados pero omitidos en el presente, así como muchos percibidos como útiles deberán ser revisados en detalle en el futuro para confirmar tanto los comportamientos cualitativos como cuantitativos. La realización de proyectos piloto, incluso a escala reducida, para comprobar los resultados obtenidos por simulación tienen que ser, no cabe duda, prioritarios en trabajos futuros.

## **7. Bibliografía**

- Abdel-Hamid, T., & Madnick, S. (1991). *Software project dynamics: an integrated approach*. New York: Prentice-Hall, Inc.
- Ballesteros-Pérez, P., González-Cruz, M. C., Cañavate-Grimal, A., & Pellicer, E. (2013). Detecting abnormal and collusive bids in capped tendering. *Automation in Construction* 31, pp.215-229.
- Brealey, R., & Myers, S. (2016). *Principles of Corporate Finance 12th Edition*. McGraw-Hill, 6th Edition.

- Calveras, A. G. (2002). Las bajas temerarias en las subastas de obras públicas. Un análisis de la regulación española. *Hacienda Pública Española. Revista de Economía Pública*, V162 N3/2002 pp.135-153.
- Calveras, A. G. (2004). Wild Bids, Gambling for Resurrection in Procurement Contracts. *Journal of Regulatory Economics*, V26 pp. 41-68.
- CMMI. (2010). *CMMI for Development V1.3*. Software Engineering Process Management Program: CMU/SEI-2010-TR-033.
- COBIT 5. (30 de 1 de 2018). Obtenido de ISACA: <https://www.isaca.org/pages/default.aspx>
- Colla, P. (2015). Marco para evaluar garantía en desarrollos de software. *ASSE 2015-JAIIO 44* (págs. pp.14-25). Rosario: SADIO ISSN: 2451-7593.
- Colla, P. (2016). Uso de opciones reales para evaluar la contribución de metodologías KANBAN en desarrollo de software. *Simposio Argentino de Ingeniería de Software (ASSE 2016) - JAIIO 45* (págs. p. 159-168). Tres de febrero: SADIO ISSN: 2451-7593.
- Coskun, H., Erdis, E., & Demirci, M. 2. (2013). Pricing policies as a marketing strategy in the construction industry. *Technological and Economic Development of Economy*, pp.1-21.
- Crowley, L. H. (1995). Evaluation of Competitive Bids. *Journal of Construction Engineering and Management*, pp. 238-245.
- Doyle, R. A., & Baska, S. (15 de 01 de 2008). *History of Auctions: From ancient Rome to today's high-tech auctions*. Obtenido de Auctionners: [http://www.auctioneersfoundation.org/news\\_detail.php?id=5094](http://www.auctioneersfoundation.org/news_detail.php?id=5094)
- Friedman, L. (1956). A competitive Bidding Strategy. *Operations Research Society meeting June 4, 1955* (págs. pp. 104-112). New York: Operations Research Society.
- Grogan, T. (1992). Low Bids Raise Hidden Costs. *ENR*, pp.30-31.
- Gunduz, M., & H.V., K. (2017). Assessment of abnormally low tenders: a multinomial logistic regression approach. *Technological and Economic Development of Economy DOI: 10.3846/20294913.2015.107129423:6*, V23N6 pp. 848-859.
- Harrower, J. R. (1999). *Prevention, detection and elimination of abnormally low tenders in the European construction industry*. DG III Working Group on Abnormally Low Tenders Report.
- Hiyassat, M. (2001). Construction bid price evaluation. *NRC Research Press*, V28 pp. 264-270.
- Ioannou, P. L. (1993). Average Bid Method, A Competitive Bidding Strategy. *Journal of Constructions Engineering and Management ASCE*, V199 N1 pp. 131-147.
- Jorgensen, M. C. (2004). An Empirical Study of Software Project Bidding. *IEEE Transactions on Software Engineering*, V30 N12 pp.953-969.
- Jorgensen, M. G. (2005). Over-optimism in Software Development Projects: "The winner's curse". *Proceedings of the 15th International Conference on Electronics, Communications and Computers (CONIELECOMP 2005)* (pág. pp ). IEEE Computer Society.
- Jørgensen, M., & Carelius, G. (2004). An Empirical Study of Software Project Bidding. *IEEE TRANSACTIONS ON SOFTWARE ENGINEERING, VOL. 30, NO. 12*, pp.953-963.
- Kagel, J. L. (1986). The Winner's Curse and Public Information in Common Value Auctions. *The American Economic Review*, V76 N5 pp. 894-920.
- Katehakis, M. P. (2012). On optimal bidding in sequential procurement auctions. *Operations Research Letters*, V40 pp. 244-249.
- Kerzner, H., & Thamhain, H. (1986). *Project management operating guidelines: directives, procedures and forms*. New York: Van Nostand-Reinhold.
- Kitchenham, B. L., & Linkman, S. (VOL. 29, NO. 6, JUNE 2003). Modeling Software Bidding Risks. *IEEE TRANSACTIONS ON SOFTWARE ENGINEERING*, pp.542-554.
- Knox, S. (1993). Modeling the Cost of Software Quality. *Digital Technical*, pp 9-16.
- Koller, G. (2000). *Risk Modelling for Determining Value and Decision Making*. New York: Chapman and Hall.
- Krishna, V. (2002). *Auction Theory*. San Diego, USA: Academic Press ISBN 0-12-426297-X.
- Kuhn, H., & Nasar, S. (2007). *The essential John Nash*. New Jersey: Pricenton University Press, ISBN9780691096100.
- Lawlis, P. K., M., F. R., & B., T. J. (1995). A Correlational Study of the CMM and Software Development Performance. *Crosstalk*, pp. 21-25.
- Matson, J. E., Barrett, B. E., & Mellichamp, J. M. (1994). Software development cost estimation using function points. *IEEE Transactions on Software Engineering 20(4)*, pp.275-287.
- Mendenhall, W., & Beaver, R. (2012 14th Edition). *Introduction to Probability and Statistics* . Cengage Learning; 14 edition ISBN 1133103758.
- Molokken, K., & Jorgensen, M. (2003). A Review of Surveys on Software Effort Estimation. *Proceedings of the 2003 International Symposium on Empirical Software Engineering (ISESE '03)*.
- Nash, J. (1950). *Non-cooperative games (PhD disertation)*. New Jersey: Faculty of Princeton Univeristy.
- Pickard, L. K. (TR/SE 2002). *Software Bidding Model Implementation*. Keele, Staffs, England: Department of Computer Science, Keele University.

- Pyzdek, T., & Keller, P. (2010). *Six Sigma Handbook: A Complete Guide for Green Belts, Black Belts, and Managers at All Levels*. The McGraw-Hill Companies, Inc.
- Sargent, R. (1998). Verification and Validation of Simulation Models. *Proceedings of the Winter Simulation Conference*.
- Shubik, M. (2004). *The Theory of Money and Financial Institutions*. Cambridge, MA, USA: Cambridge University Press ISBN 0-521-55184-6.
- Software development cost estimation using function points. (1994). *IEEE Transactions on Software Engineering* 20(4), pp.275-287.
- Walston, C. (1977). A method of programming measurement and estimation. *Models and Metrics for Software Management and Engineering* (págs. pp. 10-29). MD,USA: IEEE Computer Society Press .
- Xie, G., Zhang, J., & Lai, K. (2006). Risk avoidance in bidding for software projects based on life cycle management theory. *International Journal of Project Management*, pp.516–521.
- Zheng, C. Z. (2001). High Bids and Broke Winners. *Journal of Economic Theory*, pp.129-171.