

**ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DE LOS COMPETIDORES EN LA
LICITACIÓN PÚBLICA COLOMBIANA EN EL SECTOR DE LA
CONSTRUCCIÓN DE OBRA CIVIL BAJO EL ENFOQUE DE
LA TEORÍA DE SUBASTAS**

**CÉSAR AUGUSTO HERNÁNDEZ ANAYA
HENESSY CLEMENTE LÓPEZ URIBE**

**MODALIDAD
PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICO – MECÁNICAS
ESCUELA DE ESTUDIOS INDUSTRIALES Y EMPRESARIALES
BUCARAMANGA
2009**

**ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DE LOS COMPETIDORES EN LA
LICITACIÓN PÚBLICA COLOMBIANA EN EL SECTOR DE LA
CONSTRUCCIÓN DE OBRA CIVIL BAJO EL ENFOQUE DE
LA TEORÍA DE SUBASTAS**

**CÉSAR AUGUSTO HERNÁNDEZ ANAYA
HENESSY CLEMENTE LÓPEZ URIBE**

**MODALIDAD
PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**

**DIRECTOR
INGENIERO JAVIER EDUARDO ÁRIAS OSORIO**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECÁNICAS
ESCUELA DE ESTUDIOS INDUSTRIALES Y EMPRESARIALES
BUCARAMANGA**

2009

Agradecimientos

Antes que a nadie, queremos dar gracias a Dios, por permitirnos nacer en este tiempo y vivir lo que estamos viviendo.

A nuestras familias y amigos, por su apoyo siempre incondicional.

A nuestro director Javier Arias, por su orientación y dedicación.

Al Economista Javier Jaimes, por su asesoría y colaboración

Al Ingeniero Hency Soto, quien fue impulsor de esta idea.

A la Escuela de Estudios Industriales y Empresariales y a cada uno de los docentes, por sus enseñanzas y por exigirnos para hacer un Trabajo de alto nivel.

César

*A mi madre,
por quien soy lo que soy y por quien he podido lograr lo que he logrado.*

*A mi padre,
por su fuerza y su paciencia para guiarme hacia el cumplimiento de mis metas.*

*A mi hermano,
de quien parece que estoy tan lejos pero siempre lo llevo conmigo.*

*A Alirio, Efraín y Luis Gerardo,
mi otra familia, mis hermanos y compañeros de batalla.*

Henessy

*A Dios,
Gracias a Él podemos alcanzar todas nuestras metas en la vida.*

*A mis padres Juan y Herminia,
Mi total gratitud por todo su apoyo y amor.*

*A mis hermanos,
Quienes siempre manifestaron el mejor consejo ante
las dificultades, que son constantes en cualquier instante de la vida.*

*A mis amigos de la UIS,
de los cuales siempre tuve algo bueno que aprender , su apoyo
y constancia forjaron el mejor ambiente dentro del Alma Mater.*

CONTENIDO

RESÚMEN	15
GLOSARIO	17
INTRODUCCIÓN	20
1 APROXIMACIÓN A LA SITUACIÓN PROBLEMÁTICA ...	22
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	22
1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	24
1.3 OBJETIVOS	24
1.3.1 Objetivo General	24
1.3.2 Objetivos Específicos	24
1.4 JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO	25
2 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	26
2.1 CONTRATACIÓN PÚBLICA	26
2.1.1 El Contrato de Obra	27
2.1.2 Portal Único de Contratación	28
2.1.3 Principios de Selección Objetiva.....	29
2.1.4 Procesos de Selección Adecuados al Objeto.....	29
2.1.5 Diagrama del Ofrecimiento más Favorable a la Entidad	30
2.1.6 Selección Basada en el Precio	31
2.1.7 Sistema de publicación de actos administrativos.....	31
2.1.8 Selección del Ganador de la Licitación.....	32
2.2 TEORÍA DE JUEGOS	34
2.2.1 Tipos de Juegos	35
2.2.2 Componentes Básicos de un Juego	36
2.2.3 Solución de un Juego	37
2.2.4 Conceptos Técnicos.....	37
2.2.5 Equilibrio de Nash	39
2.2.6 Juegos de Información Incompleta	40
2.2.7 Equilibrio Bayesiano	40
2.3 TEORÍA DE SUBASTAS	41

2.3.1	Clasificación de las Subastas.....	42
2.3.2	Número de Bienes a Subastar y las Reglas del Proceso....	42
2.3.3	Valoración del Bien a Subastar	45
2.3.4	Teorema de Equivalencia de la Remuneración	46
2.3.5	Concepto de Solución en Subastas	47
3	ESTADO DEL ARTE	49
4	DESARROLLO METODOLOGICO.....	66
4.1	RECOPIACION BIBLIOGRAFICA.....	66
4.2	CLASIFICACION Y ANALISIS DE LA INFORMACION	69
4.3	DESCRIPCION, ANÁLISIS Y DISEÑO DEL MODELO MATEMÁTICO	70
4.4	SUBASTA AL PRIMER PRECIO EN SOBRE CERRADO ...	71
4.5	CASO DE ANÁLISIS: MODELO ASIMÉTRICO	77
4.5.1	Ganancia Esperada	79
4.5.2	Definición.....	79
4.5.3	Supuestos.....	80
4.5.4	Teoremas.....	81
5	VALIDACION DEL MODELO MATEMÁTICO.....	82
5.1	CASO DE VALIDACIÓN.....	83
5.1.1	Desarrollo del Caso de Licitación... ..	85
5.1.2	Documentos de la Propuesta.....	85
5.1.3	Documentos de Orden Técnico.....	85
5.1.4	Presentación de las Ofertas	86
5.2	Criterios de evaluación de las ofertas.....	87
5.2.1	Factores de evaluación asociados de la terminología.....	87
5.2.2	Orden de elegibilidad del ganador de la Licitación.....	104
6.	CONCLUSIONES.....	106
7.	RECOMENDACIONES	109
	BIBLIOGRAFÍA.....	111

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama del Ofrecimiento más favorable a la Entidad 31

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Información disponible en el SECOP	33
Cuadro 2. Tipos de Subasta	43
Cuadro 3. Parámetros de Evaluación, Caso de Validación	87

LISTA DE ANEXOS

- Anexo A.** Teoremas MASKIN, E. y RILEY, J. “Subastas Asimétricas”, Review of Economic Studies
- Anexo B.** Pliegos de Condiciones Definitivos, Alcaldía de Bucaramanga, Licitación Pública Inf. 004 – 007
- Anexo C.** Evaluación Económica, Alcaldía de Bucaramanga, Secretaría de Infraestructura INF – 004 – 007
- Anexo D.** Resolución N° 951 de 2007, Alcaldía de Bucaramanga, Secretaría de Infraestructura
- Anexo E.** Orden de Elegibilidad Licitación Pública INF – 004 – 007, Alcaldía de Bucaramanga, Secretaría de Infraestructura
- Anexo F.** Formulario 1, Adenda 2 de Presupuesto de Costos Directos, Alcaldía de Bucaramanga, Secretaría de Infraestructura

RESUMEN

TITULO: ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DE LOS COMPETIDORES EN LA LICITACIÓN PÚBLICA COLOMBIANA EN EL SECTOR DE LA CONSTRUCCIÓN DE OBRA CIVIL BAJO EL ENFOQUE DE LA TEORÍA DE SUBASTAS*

AUTORES: HERNÁNDEZ ANAYA, César Augusto
LÓPEZ URIBE, Henessy Clemente**

PALABRAS CLAVES: Compañías Constructoras, Teoría de Subastas, Licitación, Subasta al Primer Precio Sobre Cerrado, Oferentes, Valoración del Bien a Subastar, Modelo Asimétrico, Ganancia Esperada.

DESCRIPCIÓN

La creciente necesidad por optimizar los procesos de Gestión de Ofertas en el sector de la Licitación Pública Colombiana para Construcciones de Obra Civil, sumado al interés mostrado por parte de empresas como CJ Ingenieros Ltda. por realizar un análisis matemático que se basaba en temáticas relacionadas con el área de Investigación de Operaciones, llamó la atención de los autores, quienes decidieron realizar un trabajo de investigación acerca de dichos procesos, desde la perspectiva de la Investigación de Operaciones.

El trabajo inició con la búsqueda de información y estudios previos relacionados con la temática de licitaciones. Posteriormente se realizó una clasificación de dichos estudios para pasar a realizar un análisis con el fin de construir un Estado del Arte que se enfocara hacia el tipo de procesos Licitatorios que se llevan a cabo en Colombia.

Entre los principales hallazgos, se encontró que la manera de adjudicación en los procesos de Licitación Pública que se llevan a cabo en Colombia, se ajusta a un tipo de subastas denominado Subasta al Primer Precio en Sobre Cerrado, sobre la cual se han realizado significativos estudios a nivel mundial.

Tras la elaboración de un Modelo Matemático que permitió mirar con mayor profundidad los procesos de Licitación y los factores tenidos en cuenta por las Compañías Constructoras Oferentes, fue posible identificar que el fortalecimiento será posible en la medida que se mantenga y alimente una base de datos estadísticos con la información más significativa acerca de los competidores.

* Proyecto de Grado.

** Escuela de Estudios Industriales y Empresariales. Ingeniería Industrial. Dirigido por Javier Eduardo Árias Osorio.

SUMMARY

TITLE: STUDY OF THE BEHAVIOR OF THE COMPETITORS IN THE COLOMBIAN LICITATION IN THE SECTOR OF THE CONSTRUCTION OF CIVIL WORK UNDER THE APPROACH OF THE THEORY OF AUCTIONS*

AUTHORS: HERNÁNDEZ ANAYA, César Augusto
LÓPEZ URIBE, Henessy Clemente**

KEYWORDS: Construction Companies, Theory of Auctions, Licitación, First – price sealed – bid auction, Offerers, Value to a Bid Price, Asymmetric Model, Expected Utility

DESCRIPTION:

The increasing need for optimizing the processes of Management of Offers in the sector of the Public Colombian Licitación for Constructions of Civil Work, added to the interest showed on the part of companies as CJ Engineers Ltda. for realizing a mathematical analysis that was based on subject matters related to the area of Investigation of Operations, called the attention of the authors, who decided to realize a work of investigation it brings over of the above mentioned processes, from the perspective of the Investigation of Operations.

The work initiated with the search of information and previous studies related to the subject matter of licitaciones. Later there was realized a classification of the above mentioned studies to pass to realize an analysis in order to construct a State of the Art that was focusing towards the type of processes Licitatorios that are carried out in Colombia.

Between the principal finds, one thought that the way of adjudication in the processes of Public Licitación that are carried out in Colombia, adjusts to a type of auctions named Auction to the First Price in On Enclosure, on which significant studies have been realized worldwide.

After the elaboration of a Mathematical Model who allowed to look with major depth at the processes of Licitación and the factors had in account as the Construction Offering Companies, it was possible to identify that the strengthening will be possible in the measure that is kept and feeds a base of statistical information on the most significant information it brings over of the competitors.

* Degree Project.

** Escuela de Estudios Industriales y Empresariales. Ingeniería Industrial. Dirigido por Javier Eduardo Árias Osorio.

GLOSARIO

Juego Simétrico: Aquel en el cual las recompensas por jugar una estrategia en particular dependen sólo de las estrategias que empleen los otros jugadores y no de quién las juegue. Si las identidades de los jugadores pueden cambiarse sin que cambien las recompensas de las estrategias, entonces el juego es simétrico. Muchos de los juegos dos por dos, más estudiados son simétricos; como ejemplos tenemos las representaciones estándar del juego de la gallina, el dilema del prisionero y la caza del ciervo son juegos simétricos.

Juego Asimétrico: Los más estudiados son los juegos donde no hay conjuntos de estrategias idénticas para ambos jugadores. Por ejemplo, el juego del ultimátum y el juego del dictador tienen diferentes estrategias para cada jugador; no obstante, puede haber juegos asimétricos con estrategias idénticas para cada jugador.

Subasta¹: Proceso en el que un número de participantes buscan adjudicarse un(os) bien(es) en función de ofertas “abiertas” (conocidas por todos) realizadas ante un martillero²

Licitación: Proceso en donde un número de participantes buscan adjudicarse un(os) bien(es) en función de ofertas, las cuales se postulan en sobre cerrado.

Información Simétrica: El problema de la subasta es sencillo, sí el subastador se compromete a cumplir con el resultado de la subasta, logra extraer todas las ganancias del comercio³.

¹ Klemperer, P. (1999): Teoría de Subasta: Una guía para la literatura, Pág. 227, Editorial Klemperer.

² Se entiende por martillero o anfitrión de subasta a la persona que recibe las ofertas de los participantes

Información Asimétrica: El monopolista subasta porque no tiene toda la información de la valoración del bien por los oferentes.⁴

Simetría de los Oferentes: Cuando los oferentes son simétricos se supone que su valoración proviene de una misma distribución de probabilidad mientras que si son asimétricos se supone que la valoración de cada grupo de oferentes proviene de distintas distribuciones de probabilidad⁵.

Oferentes Asimétricos: En el modelo básico los oferentes son simétricos, lo que se manifiesta en que la valoración de los mismos se considera extraída de la misma distribución de probabilidad. La asimetría entre los oferentes se modela suponiendo que hay dos o más tipos de oferentes sacados de dos o más funciones de distribución distintas.

Puja: Valor ofertado por cada Compañía participante en la subasta.

Comprador: Entidad Pública la cual da apertura y evalúa los participantes en el proceso de licitación Pública.

Oferentes: Participantes del proceso de licitación Pública los cuales pueden ser las personas naturales o jurídicas nacionales o extranjeras, en Consorcio o en Unión Temporal, inscritas en el Registro Único de Proponentes de la Cámara de Comercio de Colombia.

Valoración Privada: Se dice que una subasta es de valor privado cuando la valoración del bien a subastar es privada de cada individuo, y ésta no

³ Teoría de subastas y concesiones de carreteras, Andrés Pereyra, Documento No. 17/01 Diciembre, 2001, pag 7

⁴ Ibid .2001

⁵ Teoría de subastas y concesiones de carreteras, Andrés Pereyra, Documento No. 17/01 Diciembre, 2001, p 8

depende de la valoración que puedan tener los demás competidores acerca del bien, por ejemplo subastas de obra de arte.

Valoración Común: Si el valor es común a todos los individuos, a su vez éste es desconocido, así la valoración que cada individuo tiene acerca del bien a subastar depende o es influenciada por la valoración del resto, ya que todos los participantes están intentando vislumbrar un valor que es común a todos. Ejemplo: Subasta de campos petroleros.

Precio de Reserva: El precio de reserva es un precio techo que limita las ofertas realizadas en la subasta, éste permite que la subasta no despeje precios excesivamente altos.

Subastas Simétricas: Modelo de valores privados independientes con riesgo simétrico, los compradores son neutrales, sin límites de presupuesto, el objeto en venta es único e indivisible, el número de oferentes potenciales es conocido.

Subasta al Primer Precio en Sobre Cerrado: Cada participante presenta una oferta sellada (no observada por el resto de participantes), al mismo tiempo que los demás. El ganador es el comprador con la oferta más alta, el ganador paga su puja⁶.

⁶ Sergei Izmalkov y Muhamet Yildiz, Subastas comunes y equivalencia de ingresos ,capitulo 3 pág. 5

INTRODUCCIÓN

La matemática, por ser lógica y exacta, ha sido ampliamente aplicada a través de los años en diversas disciplinas tales como la Estadística, la Física, las Finanzas, la Teoría de Juegos, la Optimización, el Análisis Numérico, la Lógica, entre muchas otras. Su desarrollo se ha visto apoyado por el avance de la tecnología, la innovación, la investigación y la necesidad de las Industrias por ser cada día más eficientes y competitivas.

Una de las ramas de las matemáticas, la Investigación de Operaciones, ha jugado un papel importante a través de los años, realizando aportes significativos a la industria. Entre sus distintas aplicaciones, es de vital importancia para el presente estudio, hacer mención de la Teoría de Juegos, mediante la cual se han realizado variados análisis de situaciones que involucran a dos o más individuos que compiten por un objetivo.

La Industria es el principal motor impulsor del crecimiento en la economía Colombiana debido a su adaptación al medio de las demás economías actuales del planeta, el cual se apoya en la ciencia y la tecnología para el mejoramiento y la superación de las dificultades que deben enfrentar día a día, entre las que se destacan la capacidad de producción, la organización y mejoramiento de los procesos, el posicionamiento en los mercados, etc. Para esto, diversas empresas han adoptado variadas técnicas y políticas, propias y ajenas.

Uno de los sectores de vital importancia en la Industria Colombiana, es el de la Construcción. La Cámara Colombiana de la Construcción -CAMACOL- fue creada hace más de cincuenta (50) años, con el fin de representar los intereses de quienes hacen parte del sector de la construcción, a su vez, ha realizado un seguimiento que muestra a dicho sector como campo importante de la economía que amerita ser estudiado y, cuyo futuro depende en gran

medida de la inversión que se le aplique, no solo económicamente sino además, en lo que tiene que ver con Investigaciones y aplicaciones de técnicas, tecnologías y políticas que permitan mejorar sus procesos.

El papel que el Gobierno Colombiano ha jugado en el sector de la construcción ha sido muy importante, ya que la legislación que rige los procesos de Licitación Pública actuales, permite que se realicen procesos licitatorios en igualdad de condiciones para todos los proponentes. Adicional a esto, los entes públicos que abren procesos Licitatorios han comenzado a incluir en sus pliegos de condiciones exigencias que hacen que las Compañías Constructoras apliquen políticas organizacionales que certifiquen la calidad de sus procesos, su gente, maquinaria y materia prima.

La Teoría de Subastas, rama aplicada de la Teoría de Juegos, estudia los distintos tipos de subasta que existen, con el fin de analizar el comportamiento de los diferentes individuos que hacen parte de los procesos licitatorios. A través del tiempo, por medio de ésta teoría, ha sido posible modelar algunas situaciones que así lo permiten.

El presente trabajo presenta un análisis de los procesos de Licitación Pública en Colombia, realiza una identificación de los métodos más comunes de aplicación de subastas y los principales factores que afectan la toma de decisiones por parte de las Compañías Constructoras oferentes.

Adicional a lo anterior, en éste documento, los autores buscan presentar a la Investigación de Operaciones como herramienta fundamental para el mejoramiento de las estrategias de los participantes en los procesos de Licitación Pública en Colombia, además de abrir las puertas a otros estudios futuros en el campo de dichos procesos en la Escuela de Estudios Industriales y Empresariales de la Universidad Industrial de Santander y en otras Instituciones de Educación Superior del País.

1 APROXIMACIÓN A LA SITUACIÓN PROBLEMÁTICA

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La creciente necesidad de las compañías constructoras por lograr ser altamente competitivas, exige que nuevos retos sean propuestos, analizados e implementados para alcanzar resultados que puedan servir como grandes fortalezas y que redefinan sus estrategias y procesos con el fin de aumentar su productividad y poder aprovechar mejor sus oportunidades en un entorno que ofrece cada día nuevas oportunidades tan valiosas como las que brinda el campo de la contratación pública, ya que del número de contratos y de la cuantía que se logre obtener de los mismos, depende su liquidez y función misional.

El sector de la construcción es de vital importancia en el crecimiento económico de un país, al tener un impacto considerable sobre la evolución real de muchas de sus variables. Por ésta razón, un análisis de su conformación y un intento por su cuantificación son vitales para las proyecciones que sobre éstas se intenten realizar. En particular, el futuro del sector de la construcción depende de las perspectivas que los inversionistas tienen y de las condiciones de oferta que las afecta.

Según artículos publicados por la Cámara Colombiana de la Construcción (CAMACOL) se ha calculado sobre la base de los comportamientos sobre ingreso y desempleo y proyecciones de tasas de interés, que el PIB de edificaciones aumentará aproximadamente un 6% para el 2009. Las buenas expectativas por parte de los constructores, el excelente desempeño del sector durante el primer semestre del 2007 y el aumento progresivo de la capacidad adquisitiva de los colombianos así lo permite. Sin embargo, se debe señalar la necesidad de realizar esfuerzos en la generación de mejores condiciones para la oferta. Si bien es cierto que el país atraviesa por un

buen momento, es oportuno encender las alarmas sobre la sostenibilidad del crecimiento de sectores líderes como la construcción.

La adopción de sistemas de gestión que ayudan a establecer, controlar y sistematizar las actividades de las organizaciones ha permitido que éstas encuentren en dichos sistemas, herramientas de crecimiento, apoyo de toma de decisiones que beneficien al cliente, a sus trabajadores y a la sociedad, sin embargo, su análisis no es profundo y muchas veces los lleva a tomar decisiones equivocadas al no tener una herramienta completamente relacionada con la actividad de Licitación Pública.

Una de estas herramientas, la cual se considera para la presente investigación, es la Teoría de Juegos y su aplicabilidad al análisis de las Licitaciones, ya que brinda su enfoque desde un punto de vista racional de este proceso, al tener similares reglas que un “juego” donde los apostadores son los competidores en el proceso licitatorio, las estrategias son su “plan de acción”, la cuantía presupuestal que propone cada competidor y la ganancia es la obtención del contrato.

De esta manera el presente estudio es de gran importancia para las empresas del sector de la construcción, ya que brindará a la empresa un nuevo enfoque en la dinámica de los competidores del proceso de Licitación de la Construcción de Obra Civil en Colombia, permitiendo progresivamente mejorar sus estrategias abriendo campo a poder predecir para beneficio propio lo que pueden hacer sus competidores, siendo esto muy importante, ya que permite alcanzar un mejoramiento constante en aras de obtener mayor competitividad e incremento en su valor a futuro al ser más efectiva su estrategia.

La implementación de un modelo, en nuestro caso matemático, que permita apoyar el Proceso de Licitación Pública, permitirá mejorar la senda de las

estrategias de las organizaciones interesadas, a la hora de postular su propuesta económica por medio del análisis de los comportamientos estratégicos de sus competidores, de esta manera, su decisión dependerá de la conjunción de las decisiones de los diferentes agentes teniendo un verdadero soporte basado en la Teoría de Juegos para alcanzar su objetivo principal, que es el establecer relaciones comerciales a través de nuevos contratos, en este caso, obtenidos en el proceso de Licitación Pública.

1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Cuál es el comportamiento de la Licitación Pública en Colombia en el sector de la Construcción de Obra Civil bajo el enfoque de la Teoría de Juegos?

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo General

Elaborar un Modelo Matemático basado en la Teoría de Juegos para describir el comportamiento de los competidores en el proceso de Licitación Pública Colombiana en el sector de la Construcción de Obra Civil.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Recopilar y revisar la documentación de los procesos de Licitación Pública en el sector de la Construcción de Obra Civil con el fin de evaluar la metodología utilizada en su desarrollo y su evolución en los últimos años.

- Revisar los antecedentes bibliográficos de los estudios relacionados con la temática desde la perspectiva de la Investigación de Operaciones.
- Clasificar y analizar la información de acuerdo a las necesidades de la investigación.
- Diseñar un modelo de Teoría de Juegos que se ajuste a las condiciones del problema en estudio.
- Evaluar y validar los resultados obtenidos del modelo.
- Realizar un resumen de los resultados y emitir conclusiones.

1.4 JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

El desempeño de las empresas se encuentra afectado no solo por la calidad de sus bienes y servicios, sino también por el estado de sus finanzas y su tecnología, características que al fortalecerse a través de los tiempos han marcado el crecimiento de éstas.

Adicionalmente, y desde el punto de vista del desarrollo económico y competitividad de un país, se puede apreciar cómo la no implementación de metodologías claras e innovación, que se basen en la realización de análisis del entorno, trae desventajas para las empresas debido a que se genera un estancamiento y se hace muy difícil alcanzar las metas de crecimiento plasmadas en los objetivos de todas las organizaciones⁷

El comportamiento del entorno que rodea una organización considera el análisis de muchas variables exógenas controlables o no, que se deben abordar con excelentes herramientas, sean metodológicas y/o tecnológicas,

⁷ STEIL, Benn, VICTOR, David y NELSON, Richard (2002), Innovación Tecnológica y Resultados Económicos.

para poder crear mecanismos de transformación ajustados a las expectativas del sector empresarial.

En relación a este problema, el presente proyecto no sólo dará a conocer los aspectos que se pueden mejorar en el proceso de Licitación Pública, a su vez, contribuye en el campo investigativo propio del área de la Investigación de Operaciones, mostrándola como herramienta fundamental que se ajusta a las necesidades que el mercado manifiesta frente a ésta problemática. Además contribuye a la Universidad Industrial de Santander en lo referente a la Dirección de Extensión, creándole una atmósfera adecuada ante el sector empresarial del país y, más específicamente, da inicio a futuras investigaciones de la Escuela de Estudios Industriales y Empresariales en el campo de la Investigación de Operaciones como herramienta estratégica en el sector de la Licitación Pública.

2 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.1 CONTRATACION PÚBLICA

Una subasta se desarrolla cuando las entidades públicas por medio de un proceso licitatorio contratan a personas jurídicas o naturales del sector público o privado para el cumplimiento de obligaciones propias del Estado, utilizando recursos públicos y siguiendo un conjunto de normas especiales para el correcto desarrollo de los contratos que se deriven. Generalmente el tipo de contratos desarrollados por medio de la contratación estatal son relacionados con la construcción de obras civiles, prestación de servicios públicos y algunos tipos de suministro.

En los contratos que celebran las entidades estatales podrían incluirse las modalidades, condiciones y, en general, las cláusulas que se consideren necesarias y convenientes, siguiendo los lineamientos acordes a la Constitución, la ley, el orden público, considerándose ley 80 de 1993 la cual tiene por objeto disponer las reglas y principios que rigen los contratos de las entidades estatales de lo que se considera una buena administración⁸ y sus modificaciones contempladas en la ley 1150 de julio 16 de 2007

2.1.1 El Contrato de Obra⁹

Consiste en un acto jurídico en virtud del cual una persona se obliga para con otra a realizar una obra material determinada, bajo una remuneración y sin mediar subordinación ni representación (Definición concebida en nuestro ordenamiento civil artículos 2053 a 2060).

⁸ Ley 80 de 1993, Art. 1, Congreso de la República de Colombia

⁹ Revista LEGIS 2003

La contratación en las entidades oficiales, y por supuesto en los municipios, está condicionada a una normatividad que ha sido expedida para garantizar:

- El cumplimiento de los fines superiores del Estado.
- El cuidado en el manejo de los recursos de un tercero que es el Estado.
- La preservación de los principios de la administración pública de fuente constitucional y legal.
- El debido procedimiento de las autoridades administrativas en sus relaciones contractuales frente a la sociedad, constituida por los particulares oferentes de bienes y servicios, los contratistas y la ciudadanía en general.

La dinámica de la contratación, por la cantidad de recursos que moviliza, los intereses que la rodean, las reglas de juego un tanto complejas que la caracterizan, se convierte en una actividad de alto riesgo: La mayor cantidad de procesos de responsabilidad en los órdenes disciplinario, fiscal y penal contra la administración pública proviene de la contratación estatal.

La ley 1150 de 2007 dicta disposiciones generales sobre la contratación con Recursos Públicos, donde decreta las siguientes modalidades de selección: licitación pública, selección abreviada, concurso de méritos y contratación directa, con base a ciertas reglas, siendo de interés en la presente investigación las reglas en la modalidad de licitación pública de contratos de construcción cuya método de evaluación es a la baja, que es una de las modalidades de contratación pública, la cual asigna criterios de contratación teniendo en cuenta principalmente el valor del presupuesto oficial en un contrato específico, de una determinada entidad oficial, contrato que se asignará al proponente con la oferta presupuestal más baja con respecto a todas las presentadas en el proceso licitatorio y al presupuesto oficial publicado por la entidad estatal.

Los procesos de licitación pública a la baja pueden ser fácilmente consultados en páginas de internet, como lo veremos a continuación, ya que está plenamente reglamentada esta modalidad de publicación y seguimiento según artículo tercero (3°) de de la ley 1150 de 2007.

2.1.2 Portal Único de Contratación

Es la Página Web (www.contratos.gov.co) del Gobierno Nacional en la cual, todas las entidades sometidas a la Ley 80 de 1993 deben hacer la publicidad electrónica de los documentos y actos de los procesos contractuales. Los mecanismos y procedimientos de reporte de información son definidos por el Ministerio de Comunicaciones. En el portal se publican todas las actuaciones de las licitaciones de cualesquiera de las modalidades mencionadas anteriormente y actas que ponen fin al vínculo contractual.

2.1.3 Principios de Selección Objetiva¹⁰

Según la ley 1150 de 2007, los factores de escogencia y calificación que establezcan las entidades en los pliegos de condiciones o sus equivalentes, tendrán en cuenta los siguientes criterios:

- Requisitos habilitantes: experiencia, capacidad jurídica, financiera y de organización.
- Evaluación de la oferta

2.1.4 Procesos de Selección Adecuados al Objeto

¹⁰ Ley 1150 de 2007, Art. 5, Congreso de la República de Colombia

De acuerdo a los criterios de de la eficiencia y de la transparencia, estipulados en el artículo segundo de la ley 1150 de 2007, no es lo mismo contratar la construcción de un proyecto de infraestructura, el suministro de sillas o la prestación de un servicio de consultoría por lo cual se definen tres clasificaciones distintas de acuerdo al objeto:

1. Adquisición de bienes y servicios de características técnicas uniformes y de común utilización
2. Método especial para contratación de consultores
3. Objeto complejo

2.1.5 Diagrama del Ofrecimiento más Favorable a la Entidad

En la Figura 1 se pueden apreciar de manera gráfica los elementos y la manera en que se lleva a cabo el proceso de Licitación Pública.

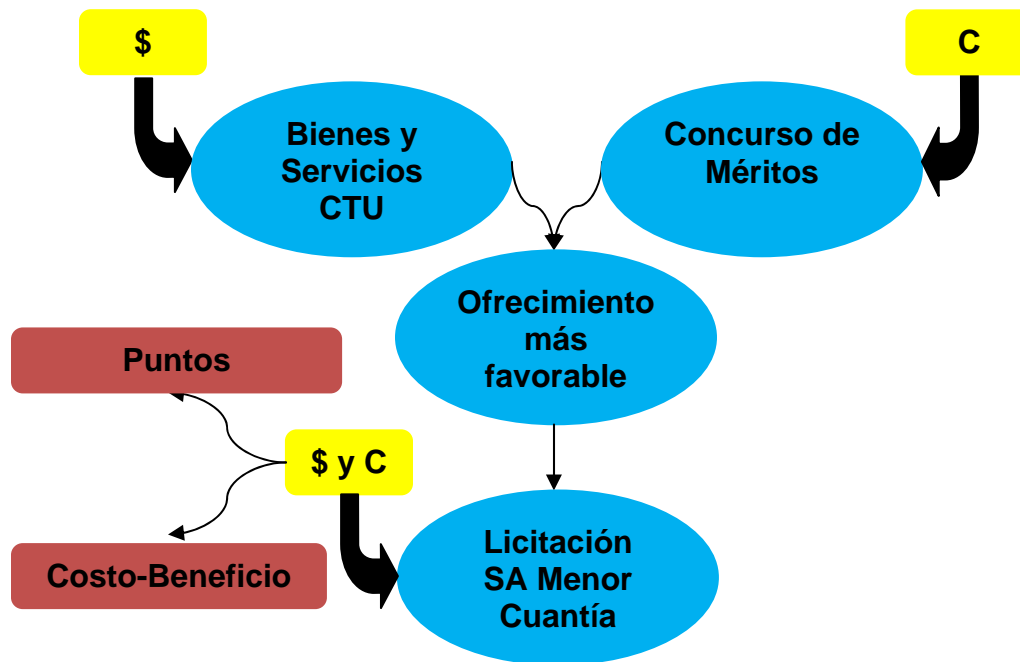
Sin importar la cuantía de la contratación se hace obligatoria la utilización de uno de los siguientes métodos:

- Subastas inversas¹¹
- Acuerdos marco de precios¹²
- Compra en bolsas de productos¹³

¹¹ Ley 1150 de 2007, Art. 2, Congreso de la República de Colombia

¹² Ley 1150 de 2007, Art. 2, Numeral 4, Congreso de la República de Colombia

¹³ Ley 1150 de 2007, Art. 2, Numeral 2, Congreso de la República de Colombia



C: Calidad de la competencia
 \$: Selección Basada en Precio
 CTU: Características técnicas uniformes

Figura 1. Diagrama del Ofrecimiento más favorable

Fuente: Decreto 066 de 2008, Art. 12

2.1.6 Selección Basada en el Precio

Cuando la Entidad Estatal así lo determina, la oferta en un proceso de Licitación Pública se presentará total o parcialmente de manera dinámica mediante Subasta Inversa la cual consiste en una puja dinámica efectuada de manera presencial en sobres cerrados o electrónicamente, mediante la reducción de precios durante un tiempo determinado, de conformidad con las reglas previstas en los respectivos pliegos de condiciones será ganador de la

subasta la entidad que ofrezca el menor precio en su oferta de sobre cerrado¹⁴.

2.1.7 Sistema de Publicación de Actos Administrativos – SECOP

Las actuaciones, actos administrativos, documentos, contratos y actos derivados de la actividad contractual en general, podrán tramitarse, notificarse y publicarse por medios electrónicos (realizada por medio de Internet).

a) Razones para las cuales fue creado el SECOP

- Estandarizar e integrar la información contractual pública.
- Ser el punto único de ingreso de información y de generación de reportes (Compra Inteligente).
- Habilitar las herramientas para permitir la contratación pública electrónica.

b) Información disponible en el SECOP

El Cuadro 1 presenta la información que puede ser consultada en el SECOP,

¹⁴ Decreto 066 de 2008, Art. 23, Congreso de la República de Colombia

Cuadro 1. Información disponible en el SECOP

El aviso de la convocatoria pública
Los proyectos de pliegos
Las observaciones y sugerencias a los proyectos y el documento que contenga las apreciaciones de la entidad sobre las observaciones presentadas.
El acto de apertura del proceso de selección, para el cual no será necesaria ninguna otra publicación.
Los pliegos de condiciones definitivos
El acta de la audiencia de aclaración y en general las aclaraciones que se presenten durante el proceso y las respuestas a las mismas.
Las adendas a los pliegos de condiciones
El informe de evaluación (licitación y concurso de méritos)
El acto y el acta de la audiencia pública de adjudicación en licitaciones pública.
El acto de declaratoria de desierta
El contrato, las adiciones, modificaciones o suspensiones y la información sobre las sanciones ejecutoriadas que se profieran en el curso de la ejecución contractual o con posterioridad a ésta.
El acta de liquidación de mutuo acuerdo, o el acto administrativo de liquidación unilateral.

Fuente: Decreto 066 de 2008, Art. 8

2.1.8 Selección del Ganador de la Licitación

La ponderación por Factores Técnicos y Económicos es el factor más relevante en el proceso de seleccionar al ganador de la licitación teniendo siempre como referencia la Ley 1150 que señala tres aspectos de interés en la presente investigación.

La selección objetiva¹⁵ es aquella en la cual la escogencia se hace al ofrecimiento más favorable a la entidad y a los fines que ella busca, sin tener en consideración factores de afecto o de interés y, en general, cualquier clase de motivación subjetiva. En consecuencia, los factores de escogencia y calificación que establezcan las entidades en los pliegos de condiciones o sus equivalentes, tendrán en cuenta los siguientes criterios:

1. La capacidad jurídica y las condiciones de experiencia, capacidad financiera y de organización de los proponentes serán objeto de verificación de cumplimiento como requisitos habilitantes para la participación en el proceso de selección y no otorgarán puntaje. La exigencia de tales condiciones debe ser adecuada y proporcional a la naturaleza del contrato a suscribir y a su valor. La verificación documental de las condiciones antes señaladas será efectuada por las Cámaras de Comercio de conformidad con lo establecido en el artículo 6° de la presente ley, de acuerdo con lo cual se expedirá la respectiva certificación.
2. La oferta más favorable será aquella que, teniendo en cuenta los factores técnicos y económicos de escogencia y la ponderación precisa y detallada de los mismos, contenida en los pliegos de condiciones o sus equivalentes, resulte ser la más ventajosa para la entidad, sin que

¹⁵ Ley 1150 de 2007, Art. 5, Congreso de la República de Colombia

la favorabilidad la constituyan factores diferentes a los contenidos en dichos documentos. En los contratos de obra pública, el menor plazo ofrecido no será objeto de evaluación. La entidad efectuará las comparaciones del caso mediante el cotejo de los ofrecimientos recibidos y la consulta de precios o condiciones del mercado y los estudios y deducciones de la entidad o de los organismos consultores o asesores designados para ello.

3. En los pliegos de condiciones para las contrataciones cuyo objeto sea la adquisición o suministro de bienes y servicios de características técnicas uniformes y común utilización, las entidades estatales incluirán como único factor de evaluación el menor precio ofrecido.

2.2 TEORÍA DE JUEGOS

El manejo de las Licitaciones tiene implícita una combinación de estrategias de los competidores, por lo que es posible realizar un estudio y modelar el comportamiento desde la perspectiva de la Teoría de Juegos. Por otra parte, de la Teoría de Juegos se desprende otro concepto en el cual se profundiza esta temática particular, que se adecúa en gran manera al proceso de una Licitación, este concepto es la Teoría de la Subasta.

Aunque la Teoría de Subastas es una rama de la Teoría de Juegos, ésta será tratada en un numeral adicional (2.3) ya que sus estudios abarcan una teoría específica en el tratamiento de este tipo de procesos

La Teoría de Juegos es una teoría matemática que estudia las características generales de situaciones competitivas de manera formal y abstracta.

Además, otorga una importancia especial a los procesos de toma de decisiones de los adversarios¹⁶.

Un juego es una determinada situación en que los individuos (jugadores) hacen elecciones en un contexto de interacción y en un marco definido previamente. Se pueden diferenciar distintos tipos de juegos dependiendo del contexto en donde interactúan los individuos.

2.2.1 Tipos de Juegos¹⁷

Dentro de los Juegos más conocidos se encuentran:

- Juegos Simétricos y Asimétricos
 - a. Juegos Simétricos: Aquellos en los que las recompensas por jugar una estrategia en particular dependen sólo de las estrategias que empleen los otros jugadores y no de quién las juegue.
 - b. Juegos Asimétricos: Aquellos donde no hay conjuntos de estrategias idénticas para ambos jugadores.
- Juegos de Suma Cero y de Suma No Cero:
 - a. Juegos de Suma Cero: Aquellos en que solamente un jugador se beneficia a expensas de otros.
 - b. Juegos de No Suma Cero: Aquellos en cuyo desenlace tienen resultados netos mayores o menores que cero.
- Juegos Cooperativos: Son aquellos en que los jugadores pueden firmar contratos para actuar en forma coludida.

¹⁶ Pérez, J.; Jimeno, J.L.; Cerda, E. (2004): Teoría de Juegos, Pág. 113, Pearson – Prentice Hall.

¹⁷ Vega Redondo, F. (1999): Economía y Juegos, Teoría y Aplicaciones, Págs. 222 – 225, A. Bosch Ed.

- Juegos Simultáneos y Secuenciales: Son aquellos en los que los jugadores mueven simultáneamente o en los que éstos desconocen los movimientos anteriores de otros jugadores.
- Juegos de Información Perfecta: Son aquellos en los que todos los jugadores conocen los movimientos que han efectuado previamente todos los otros jugadores.

2.2.2 Componentes Básicos de un Juego

Un Juego está compuesto básicamente por los siguientes elementos:

- Un conjunto de jugadores, los cuales son los individuos que formarán parte del juego. Cada uno de éstos, como característica importante de la Teoría de Juegos Clásica, se considera racional.
- Un espacio de representación del juego, el cual describe gráficamente el juego. Un claro ejemplo sería el Diagrama de Árbol, el cual está compuesto por nodos, cada uno asignado a un solo jugador, y arcos, los cuales simbolizan las acciones de que dispone cada jugador en cada uno de sus nodos. Para el caso de los jugadores, la representación puede hacerse a través de una matriz.
- Información, con la cual cuenta el jugador en cada instante que tiene que decidir. La información se describe mediante conjuntos de información, que son conjuntos de nodos que el jugador puede distinguir entre sí.
- Estrategias, que consisten básicamente en un manual de instrucciones que le dice al jugador qué decidir ante una determinada situación.
- Utilidad o Pagos, los cuales representan la ganancia o pérdida de los distintos jugadores una vez desarrollado el juego.

2.2.3 Solución de un Juego

La solución de un juego puede describirse como la forma en que los jugadores racionales jugarían dicho juego¹⁸.

Existen muchos mecanismos que permiten encontrar la solución a un juego. Entre los más utilizados y con las principales aplicaciones se encuentran:

- Equilibrio en estrategias dominantes
- Equilibrio por eliminación iterada de estrategias dominadas
- Equilibrio de Nash

A continuación se revisarán con detalle estas aplicaciones a partir de la definición de conceptos técnicos propios de la Teoría.

2.2.4 Conceptos Técnicos

Con el fin de comprender de una mejor manera cada uno de los elementos restantes del presente marco teórico, a continuación se presentan de forma ampliada algunos conceptos técnicos¹⁹:

- Una estrategia θ de un jugador i , es mejor respuesta ante otra estrategia Ω de un jugador j , si la utilidad del jugador i que le reporta la estrategia θ es la más alta que pudiese obtener, dado que el jugador j realizó la estrategia Ω .

¹⁸ Gibbons, R. (1993): Un primer curso de teoría de Juegos, Pág. 98, Antoni Bosch editores, 1ª Edición.

¹⁹ Gibbons, R. (1993): Un primer curso de teoría de Juegos, Antoni Bosch editores, 1ª Edición

Técnicamente, una estrategia E_i^* del jugador i es mejor respuesta a las estrategias de los demás jugadores E_{-i} si:

$$U_i(E_i^*, E_{-i}) \geq U_i(E_i, E_{-i}) \quad \forall E_i$$

Donde:

U_i : Utilidad del jugador i

E_i : Estrategia del jugador i

E_{-i} : Estrategia del resto de los jugadores (todos los jugadores excepto i)

- Una estrategia E_i^* de un jugador i , es una estrategia dominante, si ésta estrategia es mejor respuesta a todas las estrategias de los demás jugadores, es decir:

$$U_i(E_i^*, E_{-i}) \geq U_i(E_i, E_{-i}) \quad \forall E_i, E_{-i}$$

- Una estrategia E_i es dominada por E_i' si la utilidad U_i que reporta la estrategia E_i' al jugador i es mayor que la utilidad que pudiese obtener éste mediante la estrategia E_i ante cualquier estrategia del resto de los jugadores, es decir:

$$U_i(E_i', E_{-i}) \geq U_i(E_i, E_{-i}) \quad \forall E_{-i}$$

- Un equilibrio en estrategias dominantes es aquel en que cada uno de los jugadores realiza la mejor jugada, la cual es única, ante cualquier respuesta de sus rivales.
- Un equilibrio por eliminación iterada de estrategias dominadas, consiste en realizar iteraciones sucesivas en las cuales en cada una de éstas se

van eliminando las estrategias dominadas para cada uno de los distintos jugadores.

2.2.5 Equilibrio de Nash

Un equilibrio de Nash es uno en el cual cada uno de los jugadores realiza como estrategia la mejor respuesta ante las estrategias del resto de los jugadores.

Un equilibrio en estrategias dominantes es muy poderoso, ya que es único y ningún jugador tiene mejores alternativas desde un punto de vista individual. Sin embargo, un equilibrio de estrategias dominantes es difícil de encontrar en la realidad, por lo tanto se torna más relevante el concepto de equilibrio de Nash, ya que éste está ampliamente avalado en la literatura técnica y su existencia está asegurada en todos los juegos no-cooperativos²⁰.

En un equilibrio de Nash la estrategia de cada jugador es una mejor repuesta ante las estrategias de los otros jugadores. Técnicamente, un equilibrio de Nash es un conjunto de estrategias $E^* = \{E_1^*, \dots, E_n^*\}$ tal que:

$$U_i(E_i^*, E_{-i}^*) \geq U_i(E_i, E_{-i}^*) \quad \forall i$$

Esta definición del equilibrio de Nash sugiere un algoritmo obvio para encontrar el equilibrio, partiendo con cualquier conjunto de estrategias como solución inicial y realizar iteraciones en las cuales cada jugador compute su mejor respuesta ante la estrategia de los demás de manera de corregir su

20 Nash, J. (1950): Puntos de Equilibrio en Juegos No Cooperativos, Tesis de Doctorado en Matemáticas, Universidad de Princeton (Nueva Jersey, Estados Unidos)

respuesta anterior, cuando el algoritmo converja al mismo conjunto de estrategias, entonces éste será un equilibrio de Nash²¹.

2.2.6 Juegos de Información Incompleta

Un juego se dice de información incompleta cuando alguno de los jugadores no conoce la utilidad o pago del resto de los jugadores. En cierta medida la gran mayoría de los juegos son de información incompleta, y el caso de información completa es simplemente un supuesto razonable para modelar algunos problemas.

2.2.7 Equilibrio Bayesiano

En la resolución de juegos de información incompleta existe un concepto de equilibrio denominado equilibrio bayesiano, el cual se puede definir sencillamente como el equilibrio tal que se obtiene cuando cada jugador maximiza su utilidad esperada condicional a su tipo. Técnicamente, un equilibrio bayesiano en un juego de información incompleta, en el cual existe un conjunto finito de tipos θ_i para cada jugador i , con distribución de probabilidad p , se define como un perfil de estrategias (puras) $S_i(\cdot)$, para cada jugador i , el cual cumple con:

$$S_i(\theta_i) = \underset{S_i}{\text{Argmax}} \sum_{\theta_{-i}} U_i(S_i', S_{-i}(\theta_{-i}), (\theta_i, \theta_{-i})) \times p(\theta_{-i} | \theta_i)$$

El equilibrio bayesiano también se conoce bajo el nombre de equilibrio Bayes-Nash, dado que la existencia de éste es una consecuencia directa del

21 Reeves, D. y Wellman, M. (2004): Informática de Estrategias de Mejor Respuesta en Juegos Infinitos de Información Incompleta, Págs. 88 – 89.

equilibrio Nash. El equilibrio bayesiano es precisamente el equilibrio de Nash de la representación del juego de información incompleta como un juego de información imperfecta.

2.3 TEORÍA DE SUBASTAS

El mecanismo de subasta nace con el propósito de maximizar el beneficio obtenido por la venta de uno o varios productos. A pesar de que el auge en el estudio económico de subastas es reciente, éstas se han utilizado en el proceso de compra-venta desde varios siglos atrás. De hecho, el término subasta se deriva del acto de clavar la lanza en el suelo que realizaban los soldados romanos para marcar el lugar en el que se vendían los productos obtenidos de los saqueos tras la batalla, en latín sub – hasta.

Existe una importante literatura en la cual se comparan diferentes diseños de subasta desde diferentes puntos de vista. Éstos van desde la facilidad para ejercer poder de mercado, la eficiencia de producción, hasta los desembolsos para el demandante. Un diseño puede ser superior en una dimensión mientras que otro diseño lo sea en otra.

Desde el punto de vista de la modelación, las subastas se enmarcan dentro de la teoría de juegos, específicamente se clasifican como juegos de información incompleta, ya que cada jugador debe especular acerca de la información particular de cada uno del resto de los jugadores.

2.3.1 Clasificación de las Subastas

Las subastas se pueden clasificar de múltiples maneras, sin embargo, las distinciones básicas están en función de las siguientes características²²:

- Número de bienes a subastar: subasta uniproducción o multiproducción.
- Tipo de valoración del bien: valoración privada o valoración común.
- Reglas del proceso: subasta ascendente, descendente, primer precio, etc.

2.3.2 Número de Bienes a Subastar y las Reglas del Proceso

Una subasta puede liquidar uno o varios bienes bajo distintos mecanismos o reglas. Los mecanismos se pueden resumir básicamente en dos: subasta holandesa y subasta inglesa, de las cuales se pueden derivar otros formatos dependiendo si se trata de una subasta *abierto* o de *sobre cerrado*, o bien si se quieren liquidar uno o varios bienes a la vez. Una clasificación de los tipos de subastas podría realizarse como se muestra en la siguiente tabla:

Cuadro 2. Tipos de Subasta

UNIPRODUCTO		MULTIPRODUCTO	
Abierto	Sobre Cerrado	Abierto	Sobre Cerrado
Subasta Inglesa	Segundo Precio	Subasta Inglesa	Precio Uniforme
Subasta Holandesa	Primer Precio	Subasta Holandesa	Pay-As-Bid

Fuente: Krishna, V. (2002), Teoría de Subastas

- Subasta Inglesa Uniproducción: Corresponde a un remate común. Hay un martillero quien sube el precio iterativamente desde una postura mínima. Gana el último en aceptar un precio. Se advierte que la definición anterior

²² Klemperer, P. (1999): Teoría de la Subasta: Una guía para la literatura, Págs. 233 - 269, Editorial Klemperer.

está referida a la oferta; en caso de referirla a la demanda, el martillero baja el precio iterativamente desde una postura máxima.

- Subasta Holandesa Uniproducto: El martillero parte desde un precio muy alto y lo va disminuyendo poco a poco hasta que uno de los participantes decide aceptar el precio. Se advierte que la definición anterior está referida a la oferta; en el caso de referirla a la demanda, el martillero comienza la subasta desde un precio muy bajo y lo va aumentando paulatinamente hasta que uno de los participantes decide aceptar dicho precio.
- Subasta Primer Precio Uniproducto: Cada uno de los compradores puede realizar solamente una oferta, que realiza al mismo tiempo que todo el resto y sin saber cómo han ofertado los demás. Típicamente, la oferta se realiza en un sobre cerrado el cual se deposita en una urna. El bien se adjudica a la oferta más cara y el precio de venta es el de su oferta. Se advierte que la definición anterior está referida a la oferta; en el caso de referirla a la demanda, el activo se adjudica a la oferta más barata y el precio de negociación es el de su oferta.
- Subasta de Segundo Precio Uniproducto: Cada uno de los compradores puede realizar solamente una oferta, que realiza al mismo tiempo que todo el resto y sin saber cómo han ofertado los demás. Típicamente, la oferta se realiza en un sobre cerrado el cual se deposita en una urna. El bien se adjudica a la oferta más cara y el precio de venta es el correspondiente a la segunda oferta más cara. Se advierte que la definición anterior está referida a la oferta; en el caso de referirla a la demanda, el activo se adjudica a la oferta más barata y el precio de negociación es el correspondiente a la segunda oferta más baja.

- Subasta Inglesa Multiproducto: En este tipo de subasta se desean liquidar múltiples activos. En este tipo de subasta el martillero comienza un proceso iterativo en el cual llama a ofertar a un precio muy alto, como todos los competidores desean vender a dicho precio, se produce una sobre-oferta. Así, el martillero comienza a disminuir el precio paulatinamente hasta que la oferta iguale a la demanda. Todos los bienes son negociados al mismo precio de equilibrio.
- Subasta Holandesa Multiproducto: Al igual que en la subasta Inglesa Multiproducto, se desean liquidar múltiples activos. En este tipo de subasta el martillero comienza un proceso iterativo el cual se inicia recibiendo ofertas de venta a un precio muy bajo, en cada iteración se va incrementando este precio hasta que los primeros vendedores están dispuestos a negociar a dicho precio, los bienes ofertados son liquidados a estos oferentes en el precio señalado y continúa el proceso con el resto de los activos, hasta así completar la compra de K activos.
- Subasta Pay-As-Bid Multiproducto: En este tipo de subasta se desean liquidar múltiples activos. Para esto, el martillero solicita a los oferentes escribir sus ofertas en un papel, las cuales luego serán entregadas a éste en un sobre cerrado. Las ofertas de cada oferente deben incluir la cantidad ofrecida y el precio correspondiente de venta. Una vez abiertas las ofertas de todos los oferentes, éstas se ordenan de menor a mayor, y quedarán adjudicadas aquellas que formen parte del conjunto de ofertas más económicas que pueden abastecer la demanda. El precio de negociación con cada oferente será el ofrecido por cada uno de éstos en sus respectivas ofertas.
- Subasta Precio Uniforme Multiproducto: En este tipo de subasta se desean liquidar múltiples activos. Para esto, el martillero solicita a los

oferentes escribir sus ofertas en un papel, las cuales luego serán entregadas a éste en un sobre cerrado. Las ofertas de cada oferente deben incluir la cantidad ofrecida y el precio correspondiente de venta. Una vez abiertas las ofertas de todos los oferentes, éstas se ordenan de menor a mayor y quedarán adjudicadas aquellas que formen parte del conjunto de ofertas más económicas que pueden abastecer la demanda. El precio de negociación con cada oferente será el mismo y corresponde a la oferta con el precio más caro que resultó casada (precio marginal).

2.3.3 Valoración del Bien a Subastar

El activo a subastar puede ser de valor privado o de valor común. Se dice que una subasta es de valor privado cuando la valoración del bien a subastar es privada de cada individuo, y ésta no depende de la valoración que puedan tener los demás competidores acerca del bien. Por el contrario, se dice que una subasta es de valor común cuando la valoración del bien a subastar es común a todos los individuos. Típicamente, si bien el valor es común a todos los individuos, éste es desconocido, así la valoración que cada individuo tiene acerca del bien a subastar depende o es influenciada por la valoración del resto, ya que todos los participantes están intentando vislumbrar un valor que es común a todos.

En las subastas de valor común existe un fenómeno denominado *La Maldición del Ganador*²³. Ésta explica como el ganador de una subasta se puede transformar en un perdedor. En una subasta de valor común, el valor del objeto a subastar es el mismo para todos, por lo tanto lo más probable es que el real valor esté en la media de todas las estimaciones. Por lo tanto, el jugador que gana la subasta es el que más se ha equivocado en sus

²³ Capen, E., Clapp, R. y Campbell, W. (1971): *Puja Competitiva en Situaciones de Alto Riesgo*, Pág. 66.

estimaciones, ya que es el que ofrece el precio más alto. En conclusión, el ganador paga un precio excesivamente caro por el bien.

2.3.4 Teorema de Equivalencia de la Remuneración

Para el caso de subastas uniproducto (Single Object Auction), se puede demostrar una equivalencia entre los distintos tipos de formatos de subastas presentados anteriormente, en cuanto al equilibrio alcanzado por cada una de éstas. Desde el punto de vista de la estrategia de oferta, se puede demostrar que la subasta inglesa es análoga a la subasta de segundo precio, mientras que la subasta holandesa es equivalente a la subasta de primer precio. La diferencia entre ellas es que en la subasta inglesa los agentes pueden ofertar empleando únicamente información sobre su propia valoración del bien, mientras que en la subasta holandesa es necesario estimar el comportamiento del resto de los competidores.

A pesar de lo anterior, todos los tipos de subastas descritos convergen siempre al mismo resultado en valor esperado, y en todos los casos se trata de un resultado eficiente, dicho en otras palabras, todos llevan al mismo precio (la misma remuneración para el vendedor) y a la misma asignación. Este resultado se conoce bajo el nombre de *Teorema de Equivalencia de la Remuneración*²⁴. Dicha equivalencia se puede extender tanto a subastas de valor privado como de valor común²⁵. Sin embargo, existen casos en los cuales el teorema de la equivalencia no es válido, éstos se presentan principalmente cuando los valores del bien a subastar son interdependientes

²⁴ Riley, J. y Samuelson, W. (1981): Subasta Óptima, Pág. 11.

²⁵ Kempler, P. (1999): Teoría de Subasta. Una guía de la Literatura, Págs. 110 – 113, Editorial Klemperer.

entre los individuos y la información privada de cada individuo acerca del valor del bien está *afiliada* entre los participantes²⁶.

Los resultados teóricos que existen sobre las subastas multi – producto son bastante más limitados que para el caso de subasta de un único bien. Sin embargo es posible demostrar, en algunos escenarios, que el teorema de equivalencia de la remuneración se sigue cumpliendo. Uno de estos escenarios es el caso de subastas donde cada comprador únicamente desea adquirir un objeto, éste corresponde al caso más simplificado de todos y al más estudiado. Aunque la teoría también ha demostrado la equivalencia de remuneraciones entre los casos de subastas en donde se venden todos los bienes al mismo tiempo, y en donde se realizan sucesiones de subastas de una unidad en las cuales los bienes se venden secuencialmente, en la práctica se observa que los precios que resultan en las diferentes subastas secuenciales, van disminuyendo en forma progresiva. A este efecto se le conoce como anomalía de los precios decrecientes, o efecto vespertino²⁷, y aunque aún no existe acuerdo respecto de su origen, es probable que éste sea provocado por la aversión al riesgo de los participantes²⁸.

2.3.5 Concepto de Solución en Subastas

Para encontrar una solución a los juegos de subasta es necesario computar el equilibrio de Bayes del juego. Para este caso, dicho equilibrio bayesiano deriva en la siguiente expresión:

$$b_i = \text{Arg}_{b_i} \max \left\{ \sum_{x \leq b_i} \text{Utilidad}(b'_i) \times \text{Prob}(\max\{b'_{-i}\} = x) \right\}$$

²⁶ Krishna, V. (2002): Teoría de Subasta, Pág. 23.

²⁷ Ashenfelter, O. (1989): ¿Cómo Trabajan las Subastas para el Vino y el Arte?, Pág. 69.

²⁸ Vázquez, C. (2003): Modelos de Casación de Ofertas en Mercados Eléctricos, Pág. 136.

Donde:

b_i : Oferta óptima a presentar en la subasta por el individuo i .

b'_i : Oferta a presentar en la subasta por el individuo i .

$Prob(\max\{b'_{-i}\} = x)$: Probabilidad de que el máximo de las ofertas del resto de los individuos sea igual a x .

La función objetivo de la maximización está referida a la oferta, así el conjunto sobre el cual se realiza la sumatoria, $x \leq b'_i$, forma el total de escenarios posibles sobre el cual el sujeto i resulta ganador de la subasta.

Si se considera el hecho que todos los individuos obedecen a una estrategia $\beta(i)$, la cual es creciente en la valoración del bien, y además que los dominios del problema son continuos, entonces el equilibrio se puede escribir en términos de la función de probabilidad de las valoraciones. Así, la forma del problema de optimización que resuelve cada participante tiene la siguiente estructura:

$$b_i = \text{Arg}_{b_i} \max \left\{ \int U_i(b'_i, v_i) p(v_{-i}|v_i) dv_{-i} \right\}$$

Donde:

U_i : Utilidad del individuo i .

v_i : Valoración del bien a subastar del individuo i .

v_{-i} : Valoración del bien a subastar del resto de individuos.

P : Función de densidad de probabilidad de la valoración del resto de los agentes dado v_{-i} .

3 ESTADO DEL ARTE

La matemática ha sido aplicada en diferentes disciplinas desde tiempos remotos. La Investigación de Operaciones, rama que se destaca por el uso de modelos matemáticos, algoritmos y apoyos estadísticos, surgió como apoyo en la estrategia militar, aunque los entendidos del tema aún no se ponen de acuerdo con respecto a cuál fue su aparición inicial²⁹.

Algunos de los que podrían considerarse sus principales aportes en el campo militar son:

- El análisis y solución contra el bloqueo naval de Siracusa realizado por Arquímedes en el siglo III A.C.
- El desarrollo de relaciones matemáticas sobre la potencia balística por F. W. Lanchester en Inglaterra poco antes de la Primera Guerra Mundial.
- El diseño del Radar dirigido por Rowe durante la Segunda Guerra Mundial; fue en ésta última donde se llevaron a cabo los más importantes estudios que involucran a la Investigación de Operaciones dentro del campo militar.

A pesar de su introducción bélica, la Investigación de Operaciones es hoy considerada como una disciplina científica que se basa en la aplicación de técnicas, teorías y métodos con el fin de encontrar solución a diversos problemas que se presentan en distintos campos, como la Administración, la Física, la Economía, la Educación, la Ecología, el Mercadeo, etc. Las razones por las cuales la Investigación de Operaciones ha podido tener aplicaciones tan variadas son: su enfoque en la “Toma de Decisiones”,

²⁹ Riehm, Carl (2002): La temprana historia de la Medalla de Campos, Notas de la AMS

además de dar gran valor al comportamiento y la interacción entre quienes deben tomar estas decisiones.

Este análisis ha podido evidenciarse con mayor claridad en una rama muy importante de la Investigación de Operaciones llamada “Teoría de Juegos”, que maneja un enfoque mucho más directo con respecto al comportamiento de, lo que en ella se denomina como jugadores.

La Teoría de Juegos surgió en el campo de la Economía pero su uso también ha venido desarrollándose en distintas áreas, como en las Ingenierías³⁰. John von Neumann es considerado el padre de esta teoría debido a que fue este quien propuso la utilización del lenguaje de la Teoría de Juegos y la Teoría del Equilibrio General para la Economía. Sus principales aportes fueron el Teorema de Minimax en 1928, sobre el cual trabajó posteriormente obteniendo cada vez mejores aplicaciones y la publicación del libro “Theory of Games and Economic Behavior” junto a Oskar Morgenstern.

En 1949 John Forbes Nash propuso el Sistema de Equilibrio de Mercados y un año más tarde obtuvo su doctorado con una tesis de no menos de treinta (30) páginas sobre juegos no cooperativos, la cual es considerada su más valioso aporte a la Teoría de Juegos y que actualmente se conoce como “Equilibrio de Nash”.

En 1950 Albert W. Tucker popularizó el modelo de cooperación y conflicto de Merrill M. Flood y Melvin Dresher de nombre “El Dilema del Prisionero³¹”, por medio del cual es posible analizar y comprender la naturaleza de la cooperación humana.

³⁰ Davis, M. D. (1997): Introducción a la Teoría de Juegos, Págs. 18 – 22, Alianza Editorial.

³¹ Es un ejemplo clásico de un Juego de tipo Suma Cero.

En 1978 John C. Harsanyi presentó la teoría de los juegos con información incompleta y dio una explicación a las estrategias mixtas de un juego con información completa con base en limitaciones de información de los agentes.

En los últimos 50 años, los estudios alrededor del tema de las Licitaciones y Subastas han tomado como base a la Investigación de Operaciones. Entre los principales temas que han sido soporte de dichos estudios, se destaca la teoría de Equilibrios Bayesianos de Nash y la Teoría de Subastas, siendo William Vickrey el autor de los estudios más profundos sobre dicho tema.

En 1961 fue publicado un artículo de William Vickrey en el Journal of Finance llamado “Contra – especulación, Subastas y Licitaciones Competitivas en Sobre Cerrado”, en el cual modela y explica algunos casos de licitaciones.

En 1967, el húngaro John Harsanyi extendió la teoría de juegos a juegos de información incompleta, es decir, aquellos en que los jugadores no conocen todas las características del juego como, por ejemplo, lo que obtienen el resto de jugadores de recompensa.

En 1980 Vicki M. Coppinger, Vernon L. Smith y Jon A. Titus realizaron un estudio al que llamaron “Incentivos y Comportamiento en las Subastas Inglesa, Holandesa y de Posturas Selladas” en las cuales realizaron una descripción clara, además de un análisis de factores y comportamientos de los competidores en cada una de dichas subastas.

En 1981 John G. Riley y William F. Samuelson realizaron un estudio con respecto a las Subastas Óptimas, y su artículo fue publicado en la American Economic Review. En dicho estudio se realizan comparaciones de diversas reglas de subastas observando que al relajar algunos supuestos matemáticos se puede encontrar la equivalencia entre la Subasta Inglesa, la

Holandesa y las de Primer Precio y Segundo Precio, con respecto a la utilidad esperada del vendedor y se analiza el comportamiento de los competidores.

Milgrom y Weber (1982) en su artículo seminal dan paso hacia la construcción de una teoría económica de subastas, sobre las bases sentadas por la labor pionera de Vickrey (1961). En el proceso de construcción de esa teoría los economistas se han concentrado en la venta de un solo objeto. Una de las principales preocupaciones de los teóricos ha sido el de examinar las condiciones en las diferentes subastas y la manera en que éstas puedan ser equivalentes, o sea, generar el mismo ingreso

Ésta teoría descuidaba típicamente la venta de más de un objeto por subastas secuenciales o simultáneas. Éste último tipo de la subasta ha llamado la atención desde que los bonos del gobierno de EE.UU normalmente se venden de esa manera. En algunas circunstancias es posible que se obtenga la equivalencia de ingresos cuando los objetos son vendidos secuencialmente, Weber (1983) los ingresos esperados son los mismos bajo el primer o segundo precio en sobre cerrado en subastas de objetos idénticos con valores privados o comunes. En particular, Weber muestra que los precios esperados describen la siguiente martillada: los postores esperan que en los precios medios permanezca la constante en todas las partes de la secuencia de subastas.

En el modelo de Weber, los ganadores tienen que abandonar la subasta, entonces cada postor puede adquirir en su mayoría, un objeto. Así dos efectos se enfrentan: el concurso disminuido que obliga a bajar precios; y el hecho que el número de objetos mantengan disminuciones de un período al siguiente, que hace la oferta de los postores más agresiva.

Investigadores del tema como Ashenfelter (1989) y McAfee y Vincent (1993) han encontrado pruebas empíricas en las cuales los precios disminuyen en todas partes de una secuencia de subastas de vino idéntico (de una misma cosecha). McAfee y Vincent explican este fenómeno, referido como “anomalía del precio”, asumiendo esto los postores son de riesgo contrario de modo que tengan una mayor preocupación. La anomalía de decadencia de precios no es limitada con subastas secuenciales de objetos idénticos. Ashenfelter y Genesove (1992) y Engelbrecht- Wiggans y Kahn (1992) también poseen informes de este fenómeno en subastas, respectivamente, de bienes inmuebles y ganado vacuno. Se ha analizado la venta de los objetos que son “similares”, pero no idénticos, como en caso de condominios y ganado vacuno – Bernhardt y Scoones (1994) y Engelbrecht- Wiggans (1994) consideran un valor privado independiente en el modelo donde los postores son simétricos y sus valoraciones de los objetos son independientes de una distribución fija. Engelbrecht- Wiggans muestran esto para dichos objetos estocásticamente idénticos, con precios esperados que disminuyen si la secuencia de subastas es suficientemente grande y la distribución de valores es limitada. Bernhardt y Scoones muestran esto cuando el vendedor planea subastar dos objetos con las distribuciones diferentes de las valoraciones del comprador, de esta manera se debería subastar primero el objeto con la distribución más dispersa.

En Abril de 1995, apareció un artículo en la “Revista de Ingeniería” de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de los Andes llamado “Subasta de Acciones: Un Caso de Consultoría en Algorítmica”. En dicho caso, el planteo del problema y el diseño e implementación de un algoritmo eficiente son indispensables para realizar el trabajo deseado, esto, dentro de límites razonables de espacio y tiempo.

Se parte de una experiencia fallida, identificando las causas de los fracasos. Posteriormente, el problema se replantea “conservando el espíritu inicial”, se

consideran alternativas, se demuestra la viabilidad teórica de un algoritmo que soluciona el problema y se determina una plataforma de trabajo adecuada.

La solución escogida es un algoritmo de programación dinámica³². Se plantean dos algoritmos, descartándose uno de ellos, debido a que los resultados de tiempo y espacio no eran razonables.

En lo referente al estudio del diseño, se tuvo en cuenta lo siguiente:

- El factor k , que modularía las cantidades de acciones que se pueden querer adquirir.
- Los métodos estudiados, encuentran soluciones óptimas en precio.
- Se parte del supuesto de que las ofertas son ordenables.

Esta investigación se enfoca en el caso particular de la subasta de acciones, el cual surge de la decisión de privatizar total o parcialmente la participación que el estado pueda tener en entidades para las que se ha juzgado conveniente que pasen a poder de particulares.

Tras una Introducción, aparece un capítulo en el cual se presentan algunos términos importantes para el entendimiento de lo que se plantea posteriormente. También se describe el procedimiento de una subasta y se exponen los casos particulares del Banco de Colombia y de Ecopetrol/Cóndor-Promigás.

Tras el planteamiento de un modelo, se realiza un análisis en el que se descarta el método exhaustivo debido a la dificultad para establecer un máximo precio total sin tener que identificar una combinación que lo alcance.

³² Loomba, N. P. (1964): Método para disminuir el tiempo de ejecución de un algoritmo.

Se realizan también planteamientos de problemas de programación entera y programación lineal respectivamente.

En lo referente a la Programación Entera³³, se tendrán tantos problemas de programación entera como posibilidades de dejar componentes de x en 0. Hay 2^n maneras posibles, lo que hace que esta forma de solucionar el problema sea impracticable.

Para el caso de la Programación Lineal³⁴, es conocido el hecho de que, toda solución debe situarse en una esquina del dominio convexo. En términos del problema en cuestión, la solución estaba en una de las esquinas de cualquiera de las subregiones convexas que componen el dominio total. Sin embargo, aunque esta información puede ser quizás aprovechable, la cantidad de esquinas que deben considerarse vuelve a ser exponencial en n .

Finalmente, se opta por el planteamiento por medio de Programación Dinámica y se inicia el trabajo hacia un algoritmo solución y luego al diseño e implementación, eligiéndose la plataforma computacional y realizando la programación en lenguaje C.

Entre las conclusiones, destaca el hecho de que el análisis de complejidades reales es difícil, pero da mayor seguridad en los resultados.

En 1996 William Vickrey y James Mirrlees recibieron el premio Nobel de economía, gracias a sus trabajos sobre las subastas, y en general sobre los análisis de interacción con asimetría de información, y preferencias reveladas.

³³ Loomba, N. P. (1964): Se desprende de la Programación Lineal. Es la aplicación referente a aquellos casos en los que se requiere que la solución óptima se componga de valores enteros para algunas variables.

³⁴ Loomba, N. P. (1964): Procedimiento matemático mediante el cual se resuelve un problema indeterminado.

En el análisis de las subastas no sólo es importante detenerse en sus propiedades de eficiencia sino, como fue demostrado por Vickrey, es necesario cuestionarse respecto a la forma como las subastas pueden conducir a la obtención del mayor ingreso para el vendedor. Vickrey también mostró que la subasta ascendente (Inglesa) y la de segundo precio son estratégicamente equivalentes al igual que lo son la subasta descendente (Holandesa) y la subasta mediante sobre cerrado de primer precio.

Vickrey mostró además que desde el punto de vista del vendedor, en términos del precio esperado³⁵, puede existir una equivalencia estratégica entre los cuatro (4) tipos de subasta descritos, siempre y cuando se garantice un cierto grupo de supuestos relativos al grado de aversión al riesgo de los participantes, la correlación y afiliación³⁶ entre las valoraciones privadas que tienen del bien los participantes y la simetría o no de la distribución estadística de donde provienen las valoraciones privadas de los oferentes.

A finales de los años 90 existe aún un gran interés en la teoría de juegos. En esta época es posible encontrar a dos economistas estadounidenses llamados Thomas Schelling y Robert Aumann quienes estudiando ejemplos tan fáciles como el dilema del prisionero, el modelo halcón – paloma o la guerra de sexos, han llegado a la conclusión que estos ejemplos pueden ayudar a tomar una decisión política o económica adecuada, prevenir

³⁵ Millán Placci, María Florencia, Es importante anotar que es en términos del precio esperado por el vendedor, aunque no implique que las cuatro subastas generen el mismo precio.

³⁶ Kemplerer, Paul. Se dice que dos valoraciones o señales son afiliadas si un valor más alto de una de ellas hace más alto el valor de la otra, con una alta probabilidad de que ello ocurra.

guerras comerciales, de precios o hasta incluso conflictos bélicos, así como averiguar por qué va a ser más o menos eficiente un determinado trabajo en equipo.

Estos autores llegaron a asegurar además que el grado de aversión al riesgo hará que el vendedor prefiera un tipo de subasta frente a otro; es así como un vendedor adverso al riesgo preferirá la subasta ascendente (Inglesa) o la de sobre cerrado de segundo precio debido a que en ambas se presenta una disminución de la incertidumbre así: en la primera porque a medida que avanza la subasta se revela mayor información y en la segunda porque su mecanismo conlleva a revelar el verdadero precio de reserva de cada oferente; lo anterior da como resultado para ambas que la varianza con relación al precio esperado por el vendedor es menor si se compara con la de la subasta descendente (Holandesa) y la de sobre cerrado de primer precio.

Si el vendedor es neutral al riesgo no tendrá preferencia por algún tipo en particular de subasta, de esta manera si los agentes presentan una distribución normal, son neutrales al riesgo y no existe correlación ni afiliación entre ellos, se verifica el teorema de la equivalencia de los ingresos³⁷.

Actualmente, en aspectos como la venta de algunos bienes del Estado especialmente, el diseño de las subastas implica combinaciones de algunas de las formas clasificadas anteriormente, pues así se puede lograr una mejor aproximación a los dos principales objetivos, ya que el Estado como agente económico busca maximizar sus propios beneficios y como regulador busca que la sociedad alcance un punto que sea óptimo de Pareto.

³⁷ Patricia Tamayo, Enrique Posada. Análisis Económico de las Subastas, Págs. 7-30

A nivel de universidades es importante resaltar los trabajos realizados relacionados con la Teoría de Subastas por personas como María Florencia Millán Placci quien en el año 2002 en la Universidad Nacional de Cuyo, publicó un documento llamado “Aplicación de la Teoría de Subastas” en el que planteó un modelo teórico de una subasta de valores privados simétricos independientes (SIPV). El modelo teórico de valores privados indica que estos tipos de subastas bajo determinados supuestos conllevan un mismo valor de beneficios para los participantes y los oferentes, por lo que en el caso del ente subastador no habría diferencias al momento de elegir qué modalidad utilizar. Pero como sucede en la realidad, muchos de estos supuestos no se cumplen por lo cual el modelo es sólo una guía teórica que funciona siempre que se verifiquen sus supuestos.

En varias clases de subastas mencionadas en el marco teórico, el precio esperado del vendedor es el mismo. Esto es conocido como el teorema de equivalencia de ingresos.

El mismo no implica que las reglas de las cuatro subastas (Primer Precio, Segundo Precio, Holandesa e Inglesa) generen el mismo precio, sino que el precio esperado es el mismo. La diferencia surge porque en la subasta Holandesa y la subasta de primer precio a sobre cerrado el comprador que gana ha estimado el valor del segundo precio ofrecido más alto. Esta estimación es correcta en promedio, pero estará por encima o por debajo del valor verdadero en la realización particular. Por eso, la varianza del precio es mayor en dichas subastas. Esto puede inducir a pensar que si el vendedor es adverso al riesgo debe usar la subasta inglesa o la de segundo precio que tienen una varianza menor. Una subasta de valores privados es aquella en la cual el valor de la oferta depende solo de características propias del oferente. Las ofertas que cada jugador realiza dependen de factores relacionados a ellos mismos y no a factores que afectan a todos por igual. En los modelos de asignación de bienes el problema fundamental es la falta

de información que sufren los agentes que participan del proceso. Si la información existente fuera perfecta el problema se resolvería fácilmente porque los bienes se entregarían a aquel postor que más lo valora.

La información que no se conoce con certeza es el precio que cada aspirante está dispuesto a ofrecer por los bienes

En el documento se detallan los siguientes supuestos³⁸:

- Existen $n > 1$ compradores potenciales que conocen el objeto en venta lo suficientemente bien como para decidir cuánto están dispuestos a pagar por el mismo.

Cada agente conoce el precio que está dispuesto a pagar por el bien, sin conocer el del resto de los participantes; a este valor se lo denomina valor de reserva.

- Las valuaciones de los compradores $V: = (V_1, \dots, V_n)$ son entendidas por el vendedor como una variable aleatoria distribuida por alguna función cualquiera de distribución de probabilidades conjunta $F: [v_1, v_1] * \dots * [v_n, v_n] \rightarrow [0,1]$
- $F(V_1, \dots, V_n) = Pr(V_1 \leq v_1, \dots, V_n \leq v_n)$. Las variables V_1, \dots, V_n son las valoraciones individuales (valores de reserva) de cada oferente $i = 1 \dots n$, y los valores v_1, \dots, v_n son las valoraciones del resto de los jugadores.

³⁸Ver Wolfstetter, Elmar, Pg. 8 – 11.

Cada comprador considera las valuaciones del resto de los agentes como variables aleatorias. Simplemente se quiere decir que cada participante entiende los valores del resto como variables aleatorias y la función F de distribución acumulada le indica la probabilidad de que tenga o no una valoración superior a la del resto.

Un objeto indivisible es puesto a la venta para ser obtenido por uno de muchos oferentes o apostadores, es decir que la subasta es única.

El vendedor y todos los oferentes son neutrales al riesgo. Cada participante conoce su valor de reserva en base a la estimación a partir de la función de probabilidades F_i , conocida por todos, aunque cada uno sólo conoce su valor y no los del resto. Es decir que los valores son privados y existe independencia estadística entre las valuaciones de los diferentes individuos.

Los oferentes son indistinguibles por lo que la distribución de probabilidades de las evaluaciones de cada oferente es la misma; esto quiere decir que existe simetría. El pago que el ganador efectúe depende sólo de la oferta que realiza.

En Marzo de 2005 Juan C. Momparler y Mario Hidalgo de la Universidad de Jaume en España publicaron el artículo “Cómo simular una subasta. Aplicación a la construcción” en el cual realizaron un análisis de la participación en las subastas o concursos públicos por parte de algunas pymes, apoyándose en modelos matemáticos con el fin de lograr la optimización de la gestión de ofertas con el objetivo de mejorar las probabilidades de éxito.

El punto de partida del artículo tiene que ver con la valoración que se le da al bien o servicio objeto de la subasta. Allí se plantean tres puntos de los

cuales se puede partir para la construcción de un modelo, partiendo de un supuesto donde la valoración está limitada por un V_{max} y un V_{min} .

1. El primer punto es utilizar una distribución de probabilidad uniforme entre los límites con el fin de obtener una muestra aleatoria que representa la valoración de los competidores. Esto para el caso en que no se tiene una idea precisa del valor que podría darle cada uno de los competidores.
2. En caso de tener un mayor grado de experiencia en el mercado y, buscando mayor precisión, se plantea luego un caso en el que se utiliza una distribución de probabilidad normal con cierto porcentaje de confiabilidad.
3. El tercer caso es aquel en el que se tiene información que permite tener gran precisión a la hora de predecir el comportamiento de los competidores, construyendo de esta manera una distribución de probabilidad que permite reducir en gran medida la incertidumbre.

A partir de los datos de las valoraciones es posible comenzar la construcción de las funciones de puja de cada competidor, teniendo en cuenta que dicha función dependerá de la variable V_i (el valor del bien o servicio) y el porcentaje en el cual se mueva cada uno de ellos con respecto a dicho valor.

De esta manera es posible realizar la relación de las funciones entre dos o más competidores además de realizar un seguimiento histórico del comportamiento de los mismos con el fin de hacer un análisis basado en la experiencia buscando disminuir la incertidumbre.

Como en todo modelo, la precisión de los resultados dependerá de que la estructura interna del mismo pueda asemejarse en gran medida a la realidad. Es por esto que es importante que se pueda obtener un resultado confiable en lo que respecta a la valoración de los competidores.

El artículo aclara en uno de sus análisis que la simulación no asegura ganar la subasta debido a que siempre existirán factores que alteren el comportamiento de uno o más competidores, debido a que también ellos están realizando análisis internos con el fin de modificar sus estrategias y poder así ganar la subasta. Queda claro con lo anterior, que la simulación es un apoyo para la gerencia a la hora de tomar la decisión de la valoración que dará al bien o servicio, pero dependerá de la experiencia y del análisis que se haga de la competencia el incrementar o disminuir el valor que arroje la simulación.

Al introducir el modelo en un sistema informático y hacerlo correr gran cantidad de veces, es posible realizar un análisis detallado apoyándose en un histograma o alguna otra herramienta estadística para estudiar el posible comportamiento que tendría la subasta.

Para el caso de subastas a la baja, es posible obtener mayor precisión en los datos de la valoración de cada uno de los competidores. Sin embargo el tratamiento en este caso obliga en muchos momentos a realizar sorteo debido a que se presentan muchos empates.

En su parte final, el artículo concluye brevemente que dicha simulación no es costosa y que no requiere de sistemas complejos además de que es muy útil para mypymes y actualmente es muy utilizada.

En el año 2007, Estrella Alonso Pérez elaboró una memoria para optar al título de Doctor en el Departamento de Estadística e Investigación Operativa I de la Facultad de Ciencias Matemáticas de la Universidad Complutense de Madrid, llamada "Modelo de Subasta en un Duopolio Eléctrico con Costes Estocásticos".

La tesis plantea que describir un modelo de subasta concreto es determinar las reglas o procedimientos que se aplicarán para la selección de ofertas y precio (o precios) en la transacción. El propósito fue el estudio de modelos de subasta utilizados en las transacciones comerciales de compraventa de unidades eléctricas en un mercado competitivo.

Se analizaron las estrategias que deben seguir las empresas generadoras, para maximizar sus ingresos, y el modelo de subasta que debe elegir el Operador del Mercado (responsable de la compra de las unidades eléctricas necesarias para satisfacer el mercado), para minimizar el pago que debe hacer a las empresas generadoras.

Parte de dos categorías de modelos de subasta: La primera la describe como Modelos de valoraciones privadas (la valoración que cada pujador asigna al objeto a subastar no es de conocimiento público). Y la segunda como Modelos de valoraciones comunes (la incertidumbre relevante recae sobre el valor del objeto a subastar, que es común a todos los pujadores). La tesis se centra en la Teoría de Subasta y considera en su mayoría un modelo de valoraciones privadas.

El capítulo inicial “Preliminares” contiene la descripción de los siguientes modelos de subasta:

- Subasta Inglesa
- Subasta Holandesa
- Subasta en sobre cerrado al Primer Precio
- Subasta en sobre cerrado al Segundo Precio

Además presenta la descripción de los Juegos Bayesianos Estáticos y de diversas teorías y aplicaciones de los diversos tipos de modelos de subasta.

Posteriormente en el capítulo “Duopolio Simétrico con Valoraciones Independientes” la tesis se enfoca en los modelos de subasta aplicables en el Mercado Eléctrico para compraventa de electricidad necesaria para satisfacer una cantidad diaria demandada. Introduce el tema de Equilibrios bayesianos de Nash y el Teorema de Equivalencia de Ingresos, adaptando estas teorías a los modelos de estudio. Al final del capítulo, se analizan los casos particulares Modelos Uniformes, Discriminatorio y de Vickrey.

El capítulo “Duopolio Simétrico con Valoraciones Correlacionadas” parte de que dependiendo de la central eléctrica que se considere, es lógico pensar que el coste de producción, aun teniendo factores independientes propios de la gestión de cada empresa, dependa de factores relacionados, como podría ser el coste de la materia prima necesaria para el funcionamiento de la unidad de producción en cuestión. También aquí se introduce la aplicación de equilibrios bayesianos de Nash, además del modelo simétrico correlacionado uniforme, para una posterior comparación y análisis.

De igual forma se realizan las aplicaciones y análisis en los capítulos “Duopolio Asimétrico en capacidades de producción” y “Duopolio Asimétrico en unidades de producción” utilizando la teoría de Nash.

Entre las conclusiones de la tesis, destaca la afirmación de que la ventaja de la privatización del mercado es que permite la compra de unidades eléctricas a menor precio que el establecido por una tarifa regulada. Es importante destacar también que se concluye que una vez esté asegurada la competencia en el Mercado Eléctrico, la elección del modelo de subasta adecuado para minimizar el pago que espera hacer el Operador del Mercado y, por tanto, para minimizar el precio que paga el consumidor final, debe establecerse siguiendo los resultados obtenidos en los distintos capítulos de la tesis.

La tesis plantea finalmente que en caso de tener que elegir un único modelo, el que mejor se adapta a la mayoría de las circunstancias de un Modelo Eléctrico, sería el modelo de subasta de Vickrey.

En ese mismo año (2007) Eric Maskin, Leonid Hurwicz y Roger B. Myerson obtienen el Premio Nobel de Economía por sus investigaciones en el área de las Subastas, las cuales han sido aplicadas en numerosos campos como negociaciones laborales, regulación de los mercados financieros, subastas, además de haber ayudado a encontrar una explicación a los procesos que siguen en la toma de decisiones en cualquier transacción, en función de la información privada que poseen los distintos agentes que intervienen en el sistema y de cómo la utilizan según sus objetivos.

Uno de los estudios más importantes de Eric Maskin, uno de los documentos base de la presente investigación, es el artículo llamado “Asymmetric Auctions”, el cual publicó junto a John Riley en 1998.

Allí se plantea un Modelo aplicado a las Subastas en Sobre Cerrado al Mayor Precio, fundamentado en una serie de estudios previos en los que se destacan además de los dos autores ya mencionados, los aportes de Roger Myerson, William Samuelson, Preston McAfee, William Vickrey, entre otros.

4 DESARROLLO METODOLÓGICO

A continuación aparece la descripción de cada una de las etapas desarrolladas para llevar a cabo el Estudio del Comportamiento de los Competidores en la Licitación Pública Colombiana en el Sector de la Construcción de Obra Civil Bajo el Enfoque de la Teoría de Juegos.

4.1 RECOPIACIÓN BIBLIOGRÁFICA

El desarrollo del estudio inició con una revisión de la bibliografía relacionada con los temas de Licitación Pública Colombiana, Investigación de Operaciones y los estudios previos realizados en éste campo de estudio, abordando, como primera medida, aquellos conceptos que requerían precisarse y, en algunos casos, aquellos de los que no se tenía conocimiento alguno en el sector correspondiente. Para esto se recurrió a la revisión primaria en redes de bibliotecas nacionales donde no se obtuvo información sobre estudios relacionados sobre subastas y su modelamiento matemático, paso seguido se realizó la revisión de documentos en bases de datos ProQuest disponible por medio del sistema informático de la UIS, donde se encontraron una serie de artículos relacionados con la temática de las subastas y licitaciones de diversos tipos aplicadas internacionalmente las cuales ayudaron a construir el estado del arte y finalmente por medio de buscadores de internet de uso común se obtuvo documentación vital sobre la temática en Colombia y en otros países, de igual manera se compilo legislación que rige al sector de la Construcción en Colombia, además de varios libros relacionados con el área de Investigación de Operaciones.

Teniendo como base, la información obtenida acerca de la Investigación de Operaciones, se procedió a realizar un barrido histórico, entrando a detallar de manera más precisa acerca de una de sus ramas, la Teoría de Juegos, la

cual se ajustaba a lo que realmente se pretendía hacer. En éste proceso se pudo identificar que existe una cantidad significativa de trabajos realizados en el campo de las subastas, entre las que se encuentran las Licitaciones, y que a medida que se avanzó en dicho campo, se desprendió una nueva rama denominada Teoría de Subastas, base fundamental del presente estudio.

Del mismo modo, se abordó la Legislación Colombiana, profundizando en la legislación vigente, como lo son La Ley 80 de 1993 y las modificaciones realizadas a ésta en la Ley 1150 de 2007. Fueron los conocimientos previos acerca de ésta Legislación los que hicieron posible que se llevara a cabo el presente estudio, debido a que permite que se generen procesos competitivos en los que es posible aplicar estrategias que se basan en análisis matemáticos. Al abordar la legislación se pudo realizar un esquema general del proceso de Licitación Pública, además se tuvo conocimiento acerca del SECOP, lo cual fue muy importante para la Investigación, ya que permitió revisar una gran cantidad de Procesos licitatorios realizados previamente y las distintas modalidades de evaluación a las que son sometidos diversos contratos de obras civiles.

Teniendo la información de éstas dos primeras temáticas, se procedió seguidamente a revisar los estudios realizados en el campo de las Subastas, con la intención de profundizar en aquellos que se enfocaban más directamente en las Licitaciones de obra civil en Colombia. Realizando inicialmente una búsqueda general en Internet.

Se procedió luego a realizar una búsqueda en las bases de datos de la Biblioteca de la Universidad Industrial de Santander, haciendo un mayor análisis de los artículos realizados en inglés. En este proceso fue muy importante el análisis del trabajo de Eric Maskin y John Riley realizado en 1993 llamado “Subastas Asimétricas”.

En este punto se contaba ya con una cantidad importante de información que debía ahora clasificarse y analizarse con el fin de identificar aquella que pudiera realizar aportes significativos al presente estudio.

4.2 CLASIFICACIÓN Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

En esta etapa se realizó un análisis de la información encontrada, la cual se clasificó de la siguiente manera:

- Estudios Previos en el Campo de las Subastas

En esta parte se analizó cada estudio haciendo un recorrido que permitió visualizar con claridad la evolución en el campo de las Subastas (desde John Nash pasando por Juan Momparler y Mario Hidalgo , hasta Eric Maskin y John Riley), para de esta manera tener un punto de partida y una base sólida que permitiría construir un modelo que pudiese ser adaptado a uno de los diferentes tipos de procesos licitatorios en Colombia teniendo en cuenta los factores que inciden en la toma de decisiones de las Compañías Constructoras Oferentes.

- Procesos Licitatorios

Al analizar los procesos Licitatorios, se identificaron los distintos métodos de evaluación que manejan las distintas entidades Públicas. Lo anterior hizo necesario que se optara por uno de estos métodos de evaluación y el escogido, siendo uno de los más utilizados inicialmente, fue el comúnmente denominado Licitación a la Baja, que en la clasificación de las Subastas se conoce como Subasta al Primer Precio en Sobre Cerrado.

4.3 ANÁLISIS DEL MODELO MATEMÁTICO

La compra de un bien o servicio por medio de licitación pública al mayor precio, se puede describir de la siguiente manera:

1. El conjunto compañías constructoras oferentes en el proceso presentan sus ofertas simultáneamente, proceso visto comúnmente en entidades del Estado a nivel Nacional, tales como: FONADE, la AERONAUTICA CIVIL, Instituto de Deportes y Recreación (INDER – Medellín), la Alcaldía de Bucaramanga, entre otras.
2. Cada compañía recibe sus ganancias en función de las acciones (estrategias) tomadas por todos los oferentes.

De esta manera se establece que similarmente cuando una Entidad del Estado ofrece una concesión de un peaje, concesiones de electrificadoras o de operación de algunos establecimientos que se encuentran bajo su administración, o como el remate de bienes subastados por entidades, un ejemplo claro es la Dirección Nacional de Estupefacientes, estos procesos se realizan por medio de licitación pública al mayor precio, donde se pueden recibir varias ofertas en el proceso, pero solo gana la compañía que haya hecho la oferta de mayor valor, la cual paga el valor ofertado, los demás proponentes no reciben pago alguno.

Al analizar los valores de la puja, que se pueden presentar en el proceso licitatorio, lo más importante es el conocimiento histórico del desarrollo de proyectos similares, su funcionamiento, imprevistos, factores endógenos y exógenos y las proyecciones del proyecto objeto de un contrato sometido al proceso de licitación, de esta manera se pueden suponer acciones factibles (en las cuales internamente las compañías predicen de qué manera pueden mejorar el sistema objeto del contrato) y cuáles son sus funciones de ganancias.

Las compañías oferentes deben ser ampliamente conocedoras de las reglas de la licitación al mayor precio, contenidas en el pliego de condiciones definitivo y sus respectivas adendas.

Esta valoración se designará por c_i para el oferente i , que será el máximo precio que estaría dispuesto a pagar, en general será diferente para cada participante.

El supuesto de la información completa significa que cada uno de los oferentes conoce el perfil detallado de sus rivales, como son: información financiera, contratos en curso, proyecciones de sus inversiones, experiencia en el sector, etc. De esta manera valoran de forma diferente el bien en venta. En relación a sus acciones factibles se supone que no se presentan ofertas negativas, donde la oferta del ofertante i se designará por b_i .

4.3.1 SUBASTA AL PRIMER PRECIO EN SOBRE CERRADO

Para un modelo de una subasta en sobre cerrado al primer precio que presenta factores similares a los de la licitación pública en el sector de la construcción al mayor precio, es necesario realizar precisiones sobre los supuestos básicos del modelo:

1. Cantidad de oferentes

El número de compañías constructoras participantes se designará por N . De esta manera, con el subíndice $i = 1, \dots, N$ se designará un oferente genérico.

2. Rango de ofertas

Las ofertas se suponen continuas pertenecientes al conjunto de los números reales no negativos, es decir, $b_i \in [0, \infty)$

3. Intervalo de ofertas

Las valoraciones de los oferentes c_i se distribuyen en el intervalo $[\underline{c}, \bar{c}]$, y comparten la misma función de distribución $F(c_i)$, que se supone que es continua y diferenciable en dicho intervalo y además tienen una función de densidad designada por $f(x)$. Por lo tanto $c_i \in [\underline{c}, \bar{c}]$, siendo $F(\underline{c}) = 0$ y $F(\bar{c}) = 1$.

El vector que contiene las ofertas de todos los oferentes a excepción del oferente i , se designará por b_{-i} y a la oferta más alta de las incluidas en b_{-i} se llamará b_j , es decir, $b_j = \max [b_{-i}]$ será la oferta más alta sin tomar en cuenta a b_i .

La ganancia de los oferentes será:

$$u_i = \begin{cases} c_i - b_i, & b_i > b_j \\ 0 & b_i < b_j \end{cases}$$

Donde se observa que la diferencia para cada compañía constructora oferente entre sus costos y su oferta es la ganancia esperada para el ganador y la utilidad esperada del comprador i es:

$$u_i^e = (c_i - b_i)P((b_i > b_j))^{N-1} \quad (1)$$

De este modo las compañías interesadas presentaran sus ofertas con el objeto de maximizar la utilidad esperada, teniendo en cuenta la información de la cual disponen en la que se puede presentar que algunas compañías

filtren datos ajenos para tratar de mejorar su estrategia y sus conjeturas de cómo se comportan los demás oferentes, las cuales dependen mucho de la veracidad de las proyecciones y de su experiencia en el área específica.

Se supone que el oferente i realiza la conjetura, que todos sus competidores van a presentar sus ofertas de acuerdo a una regla de decisión arbitraria $b_h = B(c_h) \forall h \neq i$. en la cual influye, sobre los aspectos de la información que se tengan tanto del proyecto como de variables microeconómicas que las afecten. Esta regla de decisión sería arbitraria pero debe cumplir dos requisitos fundamentales: ser continua y ser monótona creciente $\forall i \forall c_i \in [\underline{c}, \bar{c}]$. Estas propiedades son importantes porque asegurar sin ambigüedad que a mayor valoración, mayor será la oferta presentada y el hecho de ser monótona creciente asegura la función inversa en el intervalo factible para las valoraciones, es decir: $c_h = B^{-1}(b_h) \forall h \neq i$

Donde $B^{-1}(b_h)$ será la valoración que da lugar a la presentación de una oferta igual b_h .

Anteriormente se comentó que la mayor oferta entre los competidores de i se llama b_i entonces $b_j = B(c_j)$.

Sea c_j^* la valoración que haría que el comprador j presentara una oferta igual a la del comprador i donde $c_j^* = B^{-1}(b_j)$, entonces la probabilidad de ganar que tiene el comprador i con la oferta b_i será igual a la probabilidad de que todas las valoraciones del resto de los compradores se sitúen por debajo de c_j^* . A su vez, la probabilidad de que la valoración de un comprador se sitúe por debajo de c_j^* vendrá dada precisamente por la función de distribución de las valoraciones, es decir, $F(c_j^*)$.

Como existen $N - 1$ competidores del oferente i , para obtener la probabilidad de que todas las valoraciones se encuentren por debajo de ese valor, se tendría que multiplicar $N - 1$ veces por sí misma. Por lo tanto:

$$P[b_i > b_j] = P[b_i > B(c_j)] = F(c_j^*)^{N-1} = F(B^{-1}(b_i))^{N-1}$$

Remplazando este valor en la ecuación (1) se tiene:

$$Max u_i^e = (c_i - b_i) F(B^{-1}(b_i))^{N-1} \quad (2)$$

En esta expresión se han eliminado las referencias a la máxima oferta de sus competidores o a sus valoraciones, datos ambos no conocidos por la compañía constructora oferente interesada cuando presenta su oferta.

De esta manera en la ecuación anterior aparecen sólo variables conocidas como el número de participantes N , la función de distribución de las valoraciones de los otros oferentes F y su propia valoración.

Por lo tanto, en esta formulación de la utilidad esperada ya se podría afrontar el problema de su maximización, en el contexto de los requisitos exigidos por el Equilibrio Bayesiano de Nash. Para maximizar u_i^e habrá que elegir b_i tal que se cumpla la condición de primer orden $\frac{\partial u_i^e}{\partial b_i} = 0$.

Si se deriva u_i^e con respecto c_i y si se introduce la condición de primer orden en esta derivada, se tiene:

$$\frac{\partial u_i^e}{\partial c_i} = \frac{\partial u_i^e}{\partial c_i} + \frac{\partial u_i^e}{\partial b_i} * \frac{\partial b_i}{\partial c_i} = \frac{\partial u_i^e}{\partial c_i}$$

Por lo tanto, la oferta óptima b_i debe satisfacer:

$$\frac{\partial u_i^e}{\partial c_i} = \frac{\partial u_i^e}{\partial b_i} = F(B^{-1}(b_i))^{N-1} \quad (3)$$

Hasta ahora solo se ha fijado en el oferente i y se ha supuesto una regla de decisión arbitraria $B(c_j)$ que utilizarían sus rivales. Todas las compañías constructoras oferentes deben estar maximizando simultáneamente su utilidad, y por tanto, el uso de la función $B(\cdot)$ por parte de los competidores de i debe ser consistente con ellos mismos si están actuando racionalmente. Si a estas condiciones, se le agrega, el supuesto de simetría entre las compañías constructoras oferentes, entonces la oferta óptima del oferente i (b_i) debería ser la que determine la propia regla de decisión $B(c_j)$ para la valoración c_i . Es decir, para que cada oferta (b_i), pueda formar parte de un equilibrio de Nash debe cumplir que $b_i = B(c_i)$, sustituyendo esta expresión en (3) se tiene:

$$\frac{\partial u_i^e}{\partial c_i} = F(B^{-1}(b_i))^{N-1} = F[B^{-1}(B(c_i))]^{N-1} = F(c_i)^{N-1}$$

Por lo tanto, para calcular la utilidad esperada se tiene:

$$u_i^e(c_i) = \int_{\underline{c}}^{c_i} [F(c)^{N-1} dc] + A \quad (4)$$

Para determinar el valor de A se recurre a la siguiente condición límite, el tipo de oferente que le correspondería a la valoración más baja entre todas las posibles tendría una utilidad esperada por participar en la subasta de cero, esta condición que juega un papel relevante en el modelo de referencia, también se podría deducir de la racionalidad de los supuestos realizados que equivale a que la oferta que realiza una compañía constructora oferente con la valoración más baja sería $B(\underline{c}) = \underline{c}$. Por lo tanto, este tipo de oferente gane o pierda la subasta, siempre recibiría una ganancia igual a cero.

Utilizando esta condición se observa que el valor de la constante A es cero, porque la integral se anula cuando $c_i = \underline{c}$. Entonces, aplicando la condición de Nash de que $b_i = B(c_i)$ e igualando (2) y (4) se tiene la función de oferta $B(c_i)$:

$$\int_{\underline{c}}^{c_i} [F(c)^{N-1} dc] = (c_i - B(c_i))F(c_i)^{N-1}$$

Despejando $B(c_i)$ se tiene:

$$b_i = B(c_i) = c_i - \frac{\int_{\underline{c}}^{c_i} [F(c)^{N-1}] dc}{F(c_i)^{N-1}} \quad (5)$$

En la licitación al primer precio, la combinación de estrategias que consiste en que todas las compañías constructoras oferentes utilizan la función de oferta $B(c_i)$ constituye un equilibrio bayesiano de Nash.

Esta función de oferta, es creciente, por lo tanto en el contexto del modelo de referencia la subasta al primer precio sería eficiente debido a que el ganador será la compañía constructora oferente con la valoración más alta.

4.3.2 CASO DE ANÁLISIS: MODELO ASIMÉTRICO

Supongamos que N compañías constructoras participan en una subasta para adjudicarse un proyecto. La compañía constructora i conoce su propio costo pero no el del resto de participantes en la subasta. El costo estimado para cada compañía constructora oferente i es una variable aleatoria C_i cuya realización la denotamos por c_i y es elegido independientemente por cada una.

La variable aleatoria C_i tiene una función de distribución $F(c_i; \theta_i)$ y una función de densidad de probabilidad $f(c_i; \theta_i)$, siendo θ_i un parámetro. Sea $\theta = (\theta_1, \theta_2, \theta_3, \dots, \theta_N)$ el vector de los parámetros específicos de todas las compañías constructoras. Suponemos que el costo de de todas las compañías constructoras $c_i \in [\underline{c}, \bar{c}]$.

Uno de los elementos más importantes del modelo es el costo de transporte, ya que es un punto fuerte al momento de hacer una valoración por parte de las compañías constructoras.

Según mencionan los autores del libro Administración de la Producción y Operaciones para una Ventaja Competitiva³⁹, el problema relacionado con la localización de instalaciones afecta tanto a los nuevos como a los viejos negocios y una conclusión relevante se tiene que siempre que la distancia sea menor irán hacer los costos de localización concepto tenido en cuenta en el desarrollo de la validación del modelo matemático. Posteriormente mencionan además que, la proximidad también ayuda a garantizar que las necesidades del cliente se incorporen en los productos que se diseñan y fabrican.

Lo anterior muestra que para el caso de las compañías constructoras, los costos de localización se convierten en un punto vital para la toma de decisiones y para la aplicación del presente modelo.

Supongamos también que cada compañía constructora tiene diferente localización y por tanto diferentes costos de transporte:

$$c_i = costo_{fijo} + \beta_1 \cdot dista_i + \varepsilon_i$$

³⁹ Chase, R. B.; Jacobs, F. R.; Aquilano, N. J. (2006): Administración de la Producción y Operaciones para una Ventaja Competitiva, Ed. Mc. Graw Hill

Se tiene el costo estimado c_i en función de tres términos. La primera parte afecta a todas las compañías constructoras por igual, por ejemplo, los kilómetros de autopista han de ser asfaltados, o las toneladas de cemento que se necesitan para construir un nuevo edificio. El segundo término $\beta_1 \cdot dista_i$, es diferente para cada firma pues afecta a su localización (según datos de registro comercial). Por último el término ε_i es una variable independiente que sirve para modelar la información privada, como el costo de materiales o de mano de obra.

Si suponemos que ε_i está normalmente distribuido, con media cero y desviación típica σ_i , entonces $\theta_i = (costo_fijo, \beta_1 \cdot dista_i, \sigma_i)$.

Sea b_i la puja de la compañía constructora i , como en este caso la adjudicación se realiza a la oferta más baja, podremos definir su utilidad como se presenta a continuación:

$$u_i(b_1, b_2, b_3 \dots \dots, b_N, c_i) = \begin{cases} b_i - c_i, & b_i < b_j \quad \forall i \neq j \\ 0 & \text{en otro caso} \end{cases}$$

La compañía constructora i se dice que tiene valoración privada, ya que su utilidad depende únicamente de c_i , y no de la información privada de las otras compañías constructoras. Los diferentes costos de materiales y de mano de obra para cada compañía constructora implicarán la valoración privada.

4.3.3 GANANCIA ESPERADA

En el modelo la estrategia de la empresa i es una función $b_i = b_i(c_i; \theta)$. Le Brun (1994) y Martin y Riley (1996) han demostrado que en equilibrio,

las funciones de puja $b_i = b_i(c_i; \theta)$ son estrictamente crecientes y diferenciables, lo cual implica que existe función inversa de puja $\phi_i(b; \theta) = b_i^{-1}(b; \theta)$ es también estrictamente creciente y diferenciable.

La compañía constructora i espera un beneficio de la puja b_i con el costo estimado c_i que denotaremos $\pi_i(b_i, c_i, \theta)$ que verifica:

$$\pi_i(b_i, c_i; b_{-i}, \theta) = (b_i - c_i) \cdot Q_i(b; \theta)$$

Siendo:

$$Q_i(b; \theta) = \prod_{j \neq i} [1 - F_j(\phi_j(b; \theta); \theta_j)]$$

la probabilidad que la compañía constructora i realice la oferta más baja.

4.3.4 DEFINICIÓN

Un equilibrio en estrategia pura es una colección de funciones $b_1^*, b_2^*, \dots, b_N^*$ tales que $\forall i \forall c_i \in [\underline{c}, \bar{c}], b_i = b_i^*(c_i)$ maximiza $\pi_i(b_i, c_i; b_{-i}^*, \theta)$.

La condición de primer orden para que la compañía constructora i maximice el beneficio esperado es:

$$\partial / \partial b_i \pi_i(b_i, c_i; \theta) = (b_i - c_i) \cdot Q_i'(b_i; \theta) + Q_i(b_i; \theta) = 0$$

En equilibrio tendremos esta expresión para cada compañía constructora

$$\frac{\partial}{\partial b_i} \pi(b_i, c_i; \theta) = (b_i - c_i) \cdot Q_i'(b_i, \theta) + Q_i(b_i, \theta) - 0 \quad i = 1, \dots, N$$

Si derivamos tendremos $i = 1, \dots, N$

$$\frac{\partial}{\partial b_i} \pi(b_i, c_i; \theta) = \prod_{j \neq i} [1 - F_j(\theta_j(b_i))] - (b_i - c_i) \left\{ \sum_{j \neq i} f_j(\theta_j(b_i)) \theta_j'(b_i) \right\} \times \prod_{k \neq i} [1 - F_k(\theta_k(b_i))] = 0$$

Si agrupamos términos y reordenamos el sistema en términos de $\theta_j(b)$:

$$\theta_j'(b_i) = \frac{1 - F_j(\theta_j(b_i))}{(N-1)f_j(\theta_j(b_i))} \cdot \left[\frac{-(N-2)}{b_i - \theta_j(b)} + \sum_{k \neq i} \frac{1}{b - \theta_k(b)} \right] \quad i = 1, \dots, N$$

(6)

Luego podemos caracterizar la inversa de las funciones de puja como un sistema de N ecuaciones diferenciales ordinarias.

Veamos dos resultados clave que nos servirán para garantizar la existencia de equilibrio y caracterizar las inversas de las funciones de puja.

4.3.5 SUPUESTOS

- Primer supuesto

Para todo i , $F_i(c_i; \theta)$ tiene soporte $[\underline{c}, \bar{c}]$. La función de densidad de probabilidad $f_i(c_i; \theta)$ es continuamente diferenciable⁴⁰.

- Segundo supuesto

Para todo i , la función de densidad de probabilidad $f_i(c_i; \theta)$ está acotada en $[\underline{c}, \bar{c}]$.

⁴⁰ Maskin y Riley (1998), "Subastas Asimétricas", pg. 5

4.3.6 TEOREMAS⁴¹

Los siguientes Teoremas dan mayor sustento al modelo matemático de Subasta asimétrica al menor precio Anexo A.

- Primer Teorema (LeBrun, Maskin y Riley)

Si se dan los supuestos 1 y 2 entonces existe un equilibrio de estrategia pura. Además las funciones de puja son estrictamente crecientes y diferenciables.

- Segundo Teorema (LeBrun, Maskin y Riley)

Suponiendo que se verifican las suposiciones 1 y 2. Sea $\phi_1^*(b), \phi_2^*(b), \dots, \phi_N^*(b)$ las inversas de las pujas de equilibrio. Entonces:

1. Para todo i , $\phi_i^* = \bar{c}$
2. Existe una constante β tal que para todo i , $\phi_i^*(\beta) = c$
3. Para todo i y para todo $b \in [\beta, \bar{c}]$ se verifica la ecuación (6)

Las condiciones 1 y 2 del segundo Teorema nos dan $2N$ condiciones de frontera para el conjunto de N ecuaciones diferenciales de (6). La condición **1** dice que las compañías constructoras que tienen el costo más alto \bar{c} el valor de la puja que realizan es \bar{c} . La segunda condición dice que en el coste más bajo \underline{c} , todas las compañías constructoras pujarán β .

Para demostrar la unicidad de la solución con las condiciones de frontera especificadas, necesitaríamos que el sistema verifique las condiciones de Lipschitz. Sin embargo por la condición 1 del Teorema 2 $\phi_i^*(\bar{c}) = \bar{c}$ y por la condición de $1 - F_i(\phi_i^*(\bar{c})) = 0$ tendremos que cuando $b \rightarrow \bar{c}$, entonces

⁴¹ Maskin y Riley (1998), "Subastas Asimétricas", pgs. 31 - 43

$b - \phi_i^*(\bar{c}) = 0$. Por lo tanto el sistema tiende a $\frac{0}{0}$ y por esa razón no se verifican las condiciones de Lipschitz en las proximidades de \bar{c} .

La necesidad de dar soluciones a las funciones de puja en los casos más complejos requiere el desarrollar técnicas específicas para la resolución del sistema de ecuaciones diferenciales, como se puede observar en varios trabajos.

4.4 ANÁLISIS DE RESULTADOS

Esta etapa permitió emitir las conclusiones del estudio teniendo el desarrollo del modelo y el comportamiento mostrado por las Compañías Constructoras Oferentes, sus estrategias y la necesidad de darle a éstas un mayor fundamento matemático.

Se pudo mostrar al sector de la Construcción como un campo meritorio y necesitado de una mayor inversión económica e intelectual que le permita mantener y mejorar el crecimiento que hasta ahora ha tenido, con el fin de acortar las distancias hacia el cumplimiento de sus metas y ampliar sus horizontes.

Además de emitir conclusiones, la parte final del presente documento presenta las recomendaciones, dirigidas a los integrantes del sector y a la comunidad Universitaria.

5 VALIDACION DEL MODELO MATEMÁTICO

Para el presente estudio se tuvo en cuenta la Ley vigente de Contratación Pública 1150 de 2007 decretada por el Congreso de la República en Julio 16 de 2007 por medio de la cual se introducen medidas para la eficiencia y la transparencia en la Ley 80 de 1993 y se dictan otras disposiciones generales sobre la contratación con recursos públicos.

La recopilación de procesos licitatorios con evaluaciones de precios ofertados a la baja se pueden consultar ampliamente por el sistema electrónico (SECOP), indicado en las leyes administrativas publicadas ,siguiente a la entrada en vigencia de la Ley 80 de 1993, ya que se mantiene vigente y se han hecho pocas modificaciones.

5.1 CASO DE VALIDACIÓN

Es importante analizar las subastas de un sector tan importante como es la construcción a la luz de la teoría resumida anteriormente, en particular en relación a los desarrollos recientes relativos a los procedimientos para subastar contratos de construcción. Se considera solamente las subastas en que existe una única variable a ser ofrecida como lo deja claro el modelo matemático donde el único factor de escogencia es el precio ofrecido, dejándose de lado las subastas cuyo objeto sea una combinación de objetos. El problema presenta dos aspectos donde la incertidumbre es realmente importante, como lo son las valoraciones de los de mas competidores y la los costos de transporte que puede llegar a postular tomando en cuenta la experiencia de las constructoras que en la mayoría de casos compra los materiales en el lugar más cercano a desarrollar la obra civil, minimizando de esta manera costos innecesarios asociados al transporte como lo plantea el aspecto que se toma como ideal en la validación de esta subasta.

Por otra parte los distintos oferentes poseen distintas capacidades para construir la obra civil. El oferente que es capaz de construir la obra civil al menor costo es el que se considera como el más eficiente. En relación a los costos se tiene entonces un problema de tipo valor común, la situación geológica es única pero desconocida para los oferentes pero es un aspecto que no se tiene en cuenta dentro del presupuesto de obra luego no se tiene en cuenta a la hora de validar resultados, además de un problema de tipo valor privado, los distintos oferentes tienen diferentes habilidades para construir la obra civil que solo ellos mismos conocen.

También definimos ideales a la luz y flexibilidad del modelo matemático donde el costo de construcción es el costo directo ya que el presupuesto lo designa el comprador y si es sobrepasado lo ajusta Anexo B.

- No hay costos de operación y mantenimiento.
- Las constructoras son idénticas y adversas al riesgo.
- Si se organiza una subasta, la misma será competitiva.
- El objetivo del subastador es minimizar el valor del contrato de obra civil a pagar, con la restricción de que las firmas estén interesadas en participar de la subasta.

5.1.1 Desarrollo del Caso de Licitación

El caso escogido al cumplir con los factores vitales de modelo matemático es siguiente : Licitación Pública INF - 004 – 007 elaborada en el Municipio de Bucaramanga por la Alcaldía de Bucaramanga con objeto de llevar a cabo la Construcción de la Plaza de Mercado del barrio Kennedy – Fase I del Municipio de Bucaramanga, Diciembre de 2007

Proyecto en el cual se tiene un presupuesto oficial estimado por la suma de Mil Veinticuatro Millones Novecientos Ochenta y Dos Mil Ciento Ochenta y Ocho Pesos Mcte. (\$ 1.024'982.188.), precio inicial de la licitación ,este presupuesto oficial corresponde a los gastos e inversiones correspondientes a la legalización y ejecución del contrato. Según Numeral 1.3 del ANEXO B.

La referencia del modelo matemático asume que las empresas participantes cumplen con los requisitos de entrada los cuales podemos citar unos ejemplos: ser personas naturales o jurídicas nacionales o extranjeras, en Consorcio o en Unión Temporal, inscritas en el Registro Único de Proponentes de la Cámara de Comercio, y que a la fecha del cierre de la licitación Pública tenga una capacidad de contratación (KC) igual o superior a 2000 SMMLV como constructor.

La identificación y entrega de la propuesta se realizará de acuerdo a lo dispuesto por la Alcaldía de Bucaramanga así: Deben presentarse dos sobres, en cada sobre se hará constar el nombre del proponente y su dirección comercial, y se dirigirá en la siguiente forma de acuerdo al formato sugerido en el pliego de condiciones de acuerdo al Numeral 1.21 del Anexo B.

El original de los Sobres No. 1 y 2 y sus copias, deberán entregarse dentro del plazo de la presente Licitación Pública, en la dirección indicada por La Alcaldía de Bucaramanga. De igual forma el pliego de condiciones solicita un listado de documentos de la Licitación Pública.

5.1.2 Documentos de la Propuesta

Según lo estipulado en el Anexo B tenemos:

- a) Carta de presentación de la propuesta
- b) Certificado de existencia y representación legal
- c) Certificado de inscripción en el registro único de proponentes
- d) Documento de conformación de consorcios o uniones temporales
- e) Garantía de seriedad de la propuesta
- f) Certificación de acreditación de pago de parafiscales
- g) Certificación de la contraloría
- h) Certificación de la procuraduría
- i) Certificación del bien o servicio ofrecido (SICE)
- j) Certificado de registro único tributario (RUT)
- k) Estampillas y recibos para presentar la propuesta, las cuales no son subsanables

5.1.3 Documentos de Orden Técnico

Acorde al pliego de condiciones definitivo del proceso, numeral 3.1.1.2 del Anexo B el oferente deberá certificar los siguientes documentos sopena de rechazo de su propuesta, estos son:

- a) Información sobre la experiencia específica del proponente en contratos similares
- b) Información financiera
- c) Certificación de Calidad (ISO 9001:2000) La cual es común para todos es un puntaje de 250 (doscientos cincuenta) puntos de 1000 (mil) puntos posibles.

5.1.4 Presentación de las Ofertas

La Alcaldía de Bucaramanga solicita que las ofertas sean presentadas en sobre cerrado de acuerdo a un formato según Anexo B, el cual denomina formulario propuesta económica donde se advierte que el valor total a ofertar, debe cubrir todos los gastos e inversiones que se den durante la celebración, legalización y ejecución del contrato que se derive.

5.2 Criterios de evaluación de las ofertas

Dentro de las consideraciones a tener en cuenta al momento de evaluar las ofertas, por parte de La Alcaldía de Bucaramanga, estas serán evaluadas teniendo en cuenta los criterios que se enuncian a continuación:

- a) Experiencia específica admisible / no admisible
- b) Capacidad financiera admisible / no admisible
- c) Certificación (ISO 9001:2000) 250 puntos
- d) Valor propuesta 750 puntos

Valor de la propuesta será calificado asignando un máximo de setecientos cincuenta puntos (750) puntos a la propuesta que tenga el menor valor de las propuestas denominadas “válidas”. Para tal fin se hace necesario determinar los siguientes parámetros:

Cuadro 3. Parámetros de Evaluación, Caso de Validación

<i>VB min</i>	Corresponde al menor valor total corregido de las propuestas válidas
<i>Vpr</i>	Valor de la propuesta presentada

Fuente: Pliego de condiciones definitivo Licitación Pública inf-004–007 Alcaldía de Bucaramanga

A partir de los parámetros antes mencionados la Secretaría de Infraestructura asignará setecientos cincuenta (750) puntos a la propuesta cuyo valor total corregido es igual a VB_{min} , y a las demás se les asignaran puntaje de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$\text{Puntaje Obtenido} = 750 \times ((1 - V_{pr} - VB_{min}) / V_{pr})$$

La Alcaldía de Bucaramanga hace la siguiente acotación: "En ningún caso la oferta podrá superar el presupuesto oficial".

5.2.1 Factores de evaluación asociados de la terminología del modelo matemático.

Al modelar matemáticamente una determinada subasta se aprecia, que son varios factores que se quieren tratar de validar de la manera más apropiada y real pero no siempre se cuenta en el medio disponible, la mejor información avalada por entes reconocidos para dar el suficiente soporte en una determinada validación, por lo cual hay que sustentar algunas realidades con soportes empíricos propios del sector de la construcción y a su vez, debe tener en cuenta algunos supuesto se relajan en el modelamiento, con el fin de acercar una estructura rígida en cuanto a planteamientos matemáticos, hacia una realidad más "flexible" y de esta manera poder unos resultados más aproximados.

En el presente modelo matemático tenemos los siguientes factores:

- N : Número de empresas que participan en el proceso de licitación a la baja en este caso son los siguientes siete (7) habilitados :

1. Consorcio Edificar
2. Consorcio BB-Kennedy
3. Orlando Serrano Pedraza
4. Consorcio S.H.
5. Constructora V.C. Ltda.
6. Consorcio Fivisa-Kennedy
7. Consorcio JR Inrale

- c_i : Valoración de los costos (estimación de los costos) del proyecto el cual incluye:

$$costo_{fijo} + \beta_1 \cdot dista_i + \varepsilon_i$$

- $costo_{fijo}$: Costos directos afecta todas las empresas, ya que estas lo incurren al tener que postular su oferta con relación a estos costos directos estipulados en el presupuesto dado por el comprador en cual en este caso se estimo en \$770.601.516,00 setecientos setenta millones seiscientos un mil quinientos diez y seis pesos moneda corriente.
- $\beta_1 \cdot dista_i$: Costo asociado de localización de cada compañía constructora se tiene la experiencia que el factor de localización que más influye son los gastos de administración , gastos imprevistos y son menores en cuanto a lo que refiere de transporte de materiales el cual se llega a negociar entre la constructora y los proveedores de los materiales a un costo inferior al que debería pagar por fletes de transporte en una compañía especializada en transporte de materiales incluso en algunos casos llegando a ser insignificante por compras al por mayor o por la compra de la mayor parte de los elementos que necesita en la obra de construcción , siendo un valor subjetivo ya que

retomando un artículo publicado en el diario La República, nos indica como otras teorías “que el valor del mercado no se puede determinar en forma objetiva porque son valores subjetivos , ya que fluctúan en forma continua y abrupta , por consiguiente sobre los balances contruidos se pueden distribuir utilidades ficticias y desquiciar con eso el futuro de las empresas” además cita: si el propósito de la contabilidad es contribuir en la capitalización de las empresas los movimientos contables deben regirse por medio del valor que resulte menor entre el costo histórico y el valor del mercado⁴² ,lo cual nos indica que una comparación sencilla entre los costos directos versus valores cotizados si fuesen los mínimos del mercado servirían como guía pero debemos tener en cuenta el poder negociador de cada empresa oferente , de esta manera como soporte de estos costos se referencian dos cotizaciones una de un centro especializados de materiales en este caso se obtuvo de la ferretería ALDIA con NIT: 890.208.890-2 Anexo G, ubicada en Bucaramanga ciudad en la cual se desarrollara la obra objeto del contrato donde, también se cotizo en una revista especializada del sector CONSTRUDATA en su edición 145 de diciembre del 2007 fecha en la cual se desarrolla el proceso licitatorio , este valor obtenido es el costo directo del presupuesto como lo indica la cotización Anexo G, posteriormente se le suma los gastos de administración los cuales también se relacionan con los costos asociados de localización. Y de esta manera obtener $\beta_1 \cdot dista_i$

- ε_i : Variable independiente que sirve para modelar información privada como el costo de oportunidad de materiales o de mano de obra de cada compañía constructora participante en el proceso; el cual se toma como elemento matemático de relajación ya que para cada empresa la base de datos de proveedores que cuenta en cada ciudad es

⁴² Henan González Rodríguez ,Analista Económico ,Artículo Diario La República ,Bogotá (2009)

confidencial y de difícil acceso, adicionalmente el modelo matemático lo supone normalmente distribuido, con media cero y con desviación típica σ_i .

- b_i : Valor de la oferta, con el cual entra a participar cada compañía constructora al proceso de licitatorio.
- u_i : Utilidad obtenida para cada compañía constructora, dada como la diferencia entre el valor de su puja b_i y la valoración de costos del proyecto c_i

En lo referente al supuesto de que cada empresa tiene diferente localización se puede afirmar que se cumple, dado que ninguna comparte domicilio entre las compañías participantes y en caso de compartir sería descartado de acuerdo a la evaluación jurídica numeral 3.1.1.1 Anexo B.

Inicialmente se establece la Tabla 1. La cual contiene costos directos de referencia del presupuesto dado a conocer por la Alcaldía de Bucaramanga y se comparan en la columna derecha con costos del mercado los cuales no incluyen costos asociados de localización.

Tabla 1. Comparativo de costos directos postulados contra costos de referencia del mercado Colombiano

MUNICIPIO DE BUCARAMANGA						
SECRETARÍA DE INFRAESTRUCTURA						
INF-004-007						
CONSTRUCCION PLAZA DE MERCADO BARRIO KENNEDY - FASE I						
FORMULARIO No. 1						
COSTE FIJO (COSTOS DIRECTOS DEL PROYECTO)						REFERENCIA DE COSTOS DE MATERIALES
FORMULARIO No. 1						
ITEM	DESCRIPCIÓN	UN	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	VALOR PARCIAL	VALOR PARCIAL (CONSTRUDATA Y COTIZACION ANEXO G)
1	PRELIMINARES					
1,1	Cerramiento de obra (Tela polivinilo, h=2,0 m)	ML	180,00	6.200,00	1.116.000,00	\$ 1.065.222,00
1,2	Campamento provisional (Incluye depósito, oficinas)	GLB	1,00	1.348.125,00	1.348.125,00	\$ 1.198.337,00
1,3	Localización y replanteo	M2	1.300,00	1.023,00	1.329.900,00	\$ 1.224.600,00
1,4	Demolición roca de gran tamaño	M3	15,00	45.136,00	677.040,00	\$ 368.775,00
1,5	Descapote a máquina	M2	1.660,00	1.421,00	2.358.860,00	\$ 2.470.080,00
				SUBTOTAL	\$ 6.829.925,00	\$6.327.014,00
2	MOVIMIENTO DE TIERRAS					
2,1	Excavación a máquina en tierra o material común y/o conglomerado Incluye retiro y disposición final	M3	1.500,00	20.000,00	30.000.000,00	\$ 27.690.000,00
2,2	Excavación manual en tierra o material común y/o conglomerado Incluye retiro y disposición final	M3	803,50	24.000,00	19.284.000,00	\$ 18.286.053,00

2,3	Relleno Compactado con material del sitio	M3	41,80	12.000,00	501.600,00	\$ 566.808,00
				SUBTOTAL	\$ 49.785.600,00	\$46.542.861,00
3	ESTRUCTURAS EN CONCRETO					
3,1	Solado de limpieza losa tanque (espesor 5 cm)	M2	18,90	13.650,00	257.985,00	246.247,00
3,2	Concreto de 21 MPA impermeabilizado para losa cimiento del tanque	M3	5,20	349.639,00	1.818.123,00	1.735.398,00
3,3	Junta de construcción tanque	ML	18,30	28.984,00	530.407,00	506.273,00
3,4	Concreto de 21 MPA impermeabilizado para paredes del tanque	M3	9,10	382.295,00	3.478.885,00	3.320.596,00
3,5	Concreto de 21 MPA impermeabilizado para losa cubierta del tanque	M3	3,80	398.108,00	1.512.810,00	1.443.977,00
3,6	Concreto ciclópeo para cimentación de zapatas	M3	24,60	184.199,00	4.531.295,00	4.325.121,00
3,7	Concreto de 21 MPA para zapatas	M3	19,70	305.000,00	6.008.500,00	5.735.113,00
3,8	Concreto de 21 MPA para zapatas corridas de muros de contención	M3	41,70	305.000,00	12.718.500,00	12.139.808,00
3,9	Concreto de 21 MPA para vigas de amarre de cimentación	M3	45,50	331.485,00	15.082.568,00	14.396.311,00
3,10	Concreto de 21 MPA para losa de contrapiso	M3	129,80	321.277,00	41.701.755,00	39.804.325,00
3,11	Concreto de 28 MPA para vigas de cimentación de contrafuertes	M3	17,20	397.565,00	6.459.718,00	6.165.801,00
3,12	Concreto de 28 MPA para contrafuertes	M3	8,80	481.950,00	3.888.526,00	3.711.598,00
3,13	Muro de contención concreto de 21 MPA Tipo T1-T2 y T3	M3	135,60	385.442,00	52.265.935,00	49.887.835,00
3,14	Junta de dilatación en muros	ML	17,20	21.438,00	368.734,00	351.957,00

3,15	Columnas en concreto 21 MPA	M3	28,40	394.650,00	11.208.060,00	10.698.093,00
3,16	Placa aligerada de entepiso concreto 21 MPA Espesor 40 cm (Incluye descolgados ejes 2, 3 y 4)	M2	415,90	110.000,00	45.749.000,00	43.667.421,00
3,17	Escaleras en concreto de 21 MPA	M3	3,00	480.000,00	1.440.000,00	1.374.480,00
3,18	Mampostería confinada para soporte de cubierta y escalera (Incluye columnetas y refuerzo)	M2	55,60	55.472,00	3.084.243,00	2.943.910,00
3,19	Vigas aéreas en concreto 21 MPA	M3	29,10	370.673,00	10.786.584,00	10.295.795,00
				SUBTOTAL	\$ 222.891.628,0	212.750.059,00
4	ACERO DE REFUERZO					
4,1	Acero de refuerzo 420 MPA	KG	47.700,00	3.100,00	147.870.000,00	141.141.915,00
4,2	Acero de refuerzo 252 MPA	KG	198,80	3.100,00	616.280,00	588.239,00
4,3	Malla electrosoldada	KG	2.800,00	3.156,00	8.836.800,00	8.434.726,00
				SUBTOTAL	\$ 157.323.080,0	\$150.164.880,0
5	ESTRUCTURA METÁLICA CUBIERTA					
5,1	Viga metálica típica (Horizontal e inclinadas)	ML	170,00	420.000,00	71.400.000,00	68.151.300,00
5,2	Correas metálicas y arriostamiento de correas (Incluye ángulos para soporte en viga)	ML	1.200,00	72.000,00	86.400.000,00	82.468.800,00
5,3	Contravientos y tensores	ML	525,00	8.500,00	4.462.500,00	4.259.456,00
5,4	Columnas metálicas eje 3, h= 5.64m (Incluye anclaje al cimiento y platinas de unión a la viga metálica)	UND	5,00	779.000,00	3.895.000,00	3.717.778,00
5,5	Teja termoacustica	M2	2.000,00	36.000,00	72.000.000,00	68.724.000,00
				SUBTOTAL	\$238.157.500,00	\$227.321.334,0
6	INSTALACIONES SANITARIAS					
6,1	Excavación en tierra y/o conglomerado a mano incluye	ml	250,00	14.000,00	3.500.000,00	3.340.750,00

	retiro y disposición final						
6,2	Relleno compactado en material común	ml	150,00	8.000,00	1.200.000,00	1.145.400,00	
6,3	Relleno granular para cimentación tubería	ml	220,00	24.533,00	5.397.260,00	5.151.685,00	
6,4	Punto Sanitario 4" y 3"	und	111,00	\$ 45.000,00	4.995.000,00	4.767.728,00	
6,5	Tubería PVC SAN 6"	ml	33,00	\$ 59.639,00	1.968.087,00	1.878.539,00	
6,6	Tubería PVC SAN 4"	ml	25,30	\$ 28.000,00	708.400,00	676.168,00	
6,7	Tubería PVC SAN 3"	ml	230,34	\$ 18.000,00	4.146.120,00	3.957.472,00	
6,8	Tubería PVC LLUVIAS 4"	ml	73,48	\$ 17.000,00	1.249.160,00	1.192.323,00	
				SUBTOTAL	\$ 23.164.027,00	\$22.110.065,0	
7	INSTALACIONES ELÉCTRICAS						
7,1	Tubo conduit PVC 3/4" tipo pesado	ml	25,00	6.000,00	150.000,00	143.175,00	
7,2	Salida luz incandescente (solo ducto)	und	2,00	17.000,00	34.000,00	32.453,00	
7,3	Salida tomacorriente normal 110 voltios (solo ducto)	und	297,00	20.000,00	5.940.000,00	5.669.730,00	
				SUBTOTAL	\$ 6.124.000,00	5.845.358,00	
8	MAMPOSTERIA Y FRISOS						
8,1	Mampostería en ladrillo H-15	M2	950,00	22.000,00	20.900.000,00	19.949.050,00	
8,2	Mampostería en ladrillo H-15 lineal	ML	20,00	14.259,00	285.180,00	272.204,00	
8,3	Mampostería en ladrillo H-10	M2	138,00	17.620,00	2.431.560,00	2.320.924,00	
8,4	Mampostería en ladrillo H-10 lineal	ML	33,00	9.678,00	319.374,00	304.842,00	
8,5	Mampostería ladrillo de gres a la vista ambas caras	M2	800,00	40.413,00	32.330.400,00	30.859.367,00	
8,6	Mampostería ladrillo de gres a la vista ambas caras lineal	ML	300,00	24.818,00	7.445.400,00	7.106.634,00	
				SUBTOTAL	\$ 63.711.914,00	\$60.813.021,00	
9	CARPINTERIA METALICA						

9,1	Marco y puertas metálicos color blanco	M2	11,00	68.514,00	753.654,00	719.363,00
9,2	Marco y puerta metalica tipo persiana	M2	4,00	225.297,00	901.188,00	860.184,00
9,3	Marcos y puertas metalicas cal 18 entamboradas	M2	3,00	98.000,00	294.000,00	280.623,00
9,4	Ventanería metálica en aluminio baños celosia 5020	M2	4,00	166.250,00	665.000,00	634.743,00
				SUBTOTAL	\$ 2.613.842,00	2.494.913,00
COSTO DIRECTO					\$ 770.601.516,0	\$734.369.505,0

Fuente: Presupuesto de costos directos Licitación Pública Inf - 004 – 007 Alcaldía de Bucaramanga, COSTRUDATA.

A continuación se presenta las tablas de resumen de las propuestas formuladas y su respectivo desglose de costos de cada uno de los siete (7) oferentes del proceso licitatorio, el cual se resume, el presupuestos de costos directos dado por La Alcaldía de Bucaramanga, los cuales irán hacer diferentes para todas las compañías participantes en el proceso ya que en la realidad la capacidad de negociación de cada participantes es diferente ya sea dado por el número de contratos en que este realizando, por la experiencia en el sector ,por el convenio con almacenes de materiales para la construcción cercanos o almacenes de materiales para la construcción que realicen descuentos notables por material puesto en obra y por compras al por mayor entre las más comunes .

Tabla 2. Resumen de la oferta del oferente #1

MUNICIPIO DE BUCARAMANGA				
SECRETARÍA DE INFRAESTRUCTURA				
INF-004-007				
CONSTRUCCION PLAZA DE MERCADO BARRIO KENNEDY - FASE I				
FORMULARIO No. 1				
OFERENTE # 1	NOMBRE DEL OFERENTE: CONSORCIO EDIFICAR			
RESUMEN DE COSTE FIJO (COSTOS DIRECTOS DEL PROYECTO)			REFERENCIA DE COSTOS DE MATERIALES	
SEGÚN LISTADO PRESENTADO POR LA ALCALDIA			(VALOR PARCIAL OFERENTE #1)	
TOTAL COSTO DIRECTO			\$614.511.850,0	
VARIABLES DEL MODELO MATEMATICO				
VARIABLE INDEPENDIENTE ε_i :	COTOS ASOCIADOS A LOCALIZACION $\beta_1 \cdot dista_i$	VALORACION (ci)	VALOR OFERTADO (bi)	UTILIDAD $(bi - ci)$
Supuesto relajado del modelo	\$178.207.147	\$792.718.997	\$817.299.431	\$24.580.434

Fuente: Presupuesto de costos directos Licitación Pública Inf - 004 – 007 Alcaldía de Bucaramanga.

Tabla 3. Resumen de la oferta del oferente #2

MUNICIPIO DE BUCARAMANGA				
SECRETARÍA DE INFRAESTRUCTURA				
INF-004-007				
CONSTRUCCION PLAZA DE MERCADO BARRIO KENNEDY - FASE I				
FORMULARIO No. 1				
OFERENTE # 2	NOMBRE DEL OFERENTE: ORLANDO SERRANO PEDRAZA			
RESUMEN DE COSTE FIJO (COSTOS DIRECTOS DEL PROYECTO)			REFERENCIA DE COSTOS DE MATERIALES	
SEGÚN LISTADO PRESENTADO POR LA ALCALDIA			(VALOR PARCIAL OFERENTE #2)	
TOTAL COSTO DIRECTO			\$661.203.647,0	
VARIABLES DEL MODELO MATEMATICO				
VARIABLE INDEPENDIENTE ε_i :	COTOS ASOCIADOS A LOCALIZACION $\beta_1 \cdot dista_i$	VALORACION (ci)	VALOR OFERTADO (bi)	UTILIDAD $(bi - ci)$
Supuesto relajado del modelo	\$185.137.022	\$846.340.669	\$879.400.851	\$33.060.182

Fuente: Presupuesto de costos directos Licitación Pública Inf - 004 – 007 Alcaldía de Bucaramanga.

Tabla 4. Resumen de la oferta del oferente #3

MUNICIPIO DE BUCARAMANGA					
SECRETARÍA DE INFRAESTRUCTURA					
INF-004-007					
CONSTRUCCION PLAZA DE MERCADO BARRIO KENNEDY - FASE I					
FORMULARIO No. 1					
OFERENTE # 3	NOMBRE DEL OFERENTE: CONSORCIO BB-KENNEDY				
RESUMEN DE COSTE FIJO (COSTOS DIRECTOS DEL PROYECTO)			REFERENCIA DE COSTOS DE MATERIALES		
SEGÚN LISTADO PRESENTADO POR LA ALCALDIA			(VALOR PARCIAL OFERENTE #3)		
TOTAL COSTO DIRECTO			\$679.349.340,0		
VARIABLES DEL MODELO MATEMATICO					
VARIABLE INDEPENDIENTE ε_i :	COTOS ASOCIADOS A LOCALIZACION $\beta_1 \cdot dista_i$	VALORACION (ci)	VALOR OFERTADO (bi)	UTILIDAD ($bi - ci$)	
Supuesto relajado del modelo	\$183.424.322	\$862773662	\$903.534.622	\$40.760.960	

Fuente: Presupuesto de costos directos Licitación Pública Inf - 004 – 007 Alcaldía de Bucaramanga.

Tabla 5. Resumen de la oferta del oferente #4

MUNICIPIO DE BUCARAMANGA					
SECRETARÍA DE INFRAESTRUCTURA					
INF-004-007					
CONSTRUCCION PLAZA DE MERCADO BARRIO KENNEDY - FASE I					
FORMULARIO No. 1					
OFERENTE # 4	NOMBRE DEL OFERENTE: CONSTRUCTORA V.C. LTDA.				
RESUMEN DE COSTE FIJO (COSTOS DIRECTOS DEL PROYECTO)			REFERENCIA DE COSTOS DE MATERIALES		
SEGÚN LISTADO PRESENTADO POR LA ALCALDIA			(VALOR PARCIAL OFERENTE #4)		
TOTAL COSTO DIRECTO			\$702.010.914,0		
VARIABLES DEL MODELO MATEMATICO					
VARIABLE INDEPENDIENTE ε_i :	COTOS ASOCIADOS A LOCALIZACION $\beta_1 \cdot dista_i$	VALORACION (ci)	VALOR OFERTADO (bi)	UTILIDAD ($bi - ci$)	
Supuesto relajado del modelo	\$182.522.838	\$884.533.752	\$933.674.516	\$49.140.764	

Fuente: Presupuesto de costos directos Licitación Pública Inf - 004 – 007 Alcaldía de Bucaramanga.

Tabla 6. Resumen de la oferta del oferente #5

MUNICIPIO DE BUCARAMANGA					
SECRETARÍA DE INFRAESTRUCTURA					
INF-004-007					
CONSTRUCCION PLAZA DE MERCADO BARRIO KENNEDY - FASE I					
FORMULARIO No. 1					
OFERENTE # 5	NOMBRE DEL OFERENTE: CONSORCIO S.H.				
RESUMEN DE COSTE FIJO (COSTOS DIRECTOS DEL PROYECTO)			REFERENCIA DE COSTOS DE MATERIALES		
SEGÚN LISTADO PRESENTADO POR LA ALCALDIA			(VALOR PARCIAL OFERENTE #5)		
TOTAL COSTO DIRECTO			\$704.213.610,0		
VARIABLES DEL MODELO MATEMATICO					
VARIABLE INDEPENDIENTE ε_i :	COTOS ASOCIADOS A LOCALIZACION $\beta_1 \cdot dista_i$	VALORACION (ci)	VALOR OFERTADO (bi)	UTILIDAD ($bi - ci$)	
Supuesto relajado del modelo	\$197.179.810	\$901.393.420	\$936.604.101	\$35.210.681	

Fuente: Presupuesto de costos directos Licitación Pública Inf - 004 – 007 Alcaldía de Bucaramanga.

Tabla 7. Resumen de la oferta del oferente #6

MUNICIPIO DE BUCARAMANGA					
SECRETARÍA DE INFRAESTRUCTURA					
INF-004-007					
CONSTRUCCION PLAZA DE MERCADO BARRIO KENNEDY - FASE I					
FORMULARIO No. 1					
OFERENTE # 6	NOMBRE DEL OFERENTE: CONSORCIO FIVISA-KENNEDY				
RESUMEN DE COSTE FIJO (COSTOS DIRECTOS DEL PROYECTO)			REFERENCIA DE COSTOS DE MATERIALES		
SEGÚN LISTADO PRESENTADO POR LA ALCALDIA			(VALOR PARCIAL OFERENTE #6)		
TOTAL COSTO DIRECTO			\$679.349.340,0		
VARIABLES DEL MODELO MATEMATICO					
VARIABLE INDEPENDIENTE ε_i :	COTOS ASOCIADOS A LOCALIZACION $\beta_1 \cdot dista_i$	VALORACION (ci)	VALOR OFERTADO (bi)	UTILIDAD ($bi - ci$)	
Supuesto relajado del modelo	\$183.424.322	\$862.773.662	\$903.534.622	\$40.760.960	

Fuente: Presupuesto de costos directos Licitación Pública Inf - 004 – 007 Alcaldía de Bucaramanga.

Tabla 8. Resumen de la oferta del oferente #7

MUNICIPIO DE BUCARAMANGA				
SECRETARÍA DE INFRAESTRUCTURA				
INF-004-007				
CONSTRUCCION PLAZA DE MERCADO BARRIO KENNEDY - FASE I				
FORMULARIO No. 1				
OFERENTE # 7	NOMBRE DEL OFERENTE: CONSORCIO JR INRALE			
RESUMEN DE COSTE FIJO (COSTOS DIRECTOS DEL PROYECTO)			REFERENCIA DE COSTOS DE MATERIALES	
SEGÚN LISTADO PRESENTADO POR LA ALCALDIA			(VALOR PARCIAL OFERENTE #7)	
TOTAL COSTO DIRECTO			\$730.124.575,0	
VARIABLES DEL MODELO MATEMATICO				
VARIABLE INDEPENDIENTE ε_i :	COTOS ASOCIADOS A LOCALIZACION $\beta_1 \cdot dista_i$	VALORACION (ci)	VALOR OFERTADO (bi)	UTILIDAD $(bi - ci)$
Supuesto relajado del modelo	\$197.133.635	\$927.258.210	\$971.065.685	\$43.807.475

Fuente: Presupuesto de costos directos Licitación Pública Inf - 004 – 007 Alcaldía de Bucaramanga.

Todos los costos soportados mediante las indicaciones del comprador dictaminadas en el pliego de condiciones definitivo numeral 5.5.5 Análisis de precios unitarios Anexo F.

El contratista deberá diligenciar para cada uno de los ítems enunciados en el ANEXO F, el análisis de precios unitarios, de acuerdo con el formato que se menciona en el Pliego de Condiciones del proceso licitatorio ANEXO B.

En lo referente al supuesto de que cada empresa tiene diferente localización se puede afirmar que se cumple, dado que ninguna comparte domicilio entre las compañías participantes y en caso de compartir sería descartado de acuerdo a la evaluación jurídica numeral 3.1.1.1 del Anexo B.

5.2.2 Orden de elegibilidad del ganador de la licitación

A continuación se presenta la tabla resumen de la evaluación de los competidores:

Tabla 9. Resumen evaluación de los oferentes

No.	NOMBRE DEL OFERENTE	VALOR DE LA OFERTA	PUNTOS POR PRECIO	PUNTOS CERTIFICACION ISO 9001.	HABILITADO		PUNTAJE TOTAL
					SI=1	NO=0	
			MÁXIMO. POSIBLE:750	MÁXIMO. POSIBLE: 250			
1	CONSORCIO JAR KENNEDY			250	0		250
2	CONSORCIO EDIFICAR	817.299.431	750	250	1		1000
3	CONSORCIO BB KENNEDY	903.534.622	678	250	1		928
4	CONSORCIO JR INRALE	971.065.685	631	250	1		881
5	CONSORCIO FIVISA-KENNEDY	939.171.201	653	250	1		903
6	ORLANDO SERRANO PEDRAZA	879.400.851	697	250	1		947
7	CONSORCIO V Y G CONSTRUCCIONES			250	0		250
8	CONSTRUCTORA VC LTDA	933.674.516	657	250	1		907
9	CONSORCIO S.H.	936.604.101	654	250	1		904

Fuente: Licitación Pública Inf - 004 – 007 Alcaldía de Bucaramanga

Por ser un proceso de licitación a la baja el ganador es la compañía con la oferta más baja por lo cual el consorcio, lo cual se verifica con una sencilla aplicación de estrategias dominadas, luego Edificar es la compañía ganadora. las compañías constructoras consorcio Jar Kennedy y el Consorcio V Y G construcciones se presentaron al comienzo del proceso pero no cumplieron con los requisitos de entrada, propuestos en el pliego de condiciones definitivo no fueron tenidos en cuenta para las evaluaciones definitivas propias de la licitación.

6. CONCLUSIONES

Los procesos de licitación Pública evaluados al menor precio siguen siendo un método utilizado por diferentes entes, en la asignación de diferentes contratos en el sector de la construcción encontrándose como principales exponentes La Alcaldía de Bucaramanga, El Instituto Nacional Penitenciario de Colombia INPEC, Indermedellín, y La Fuerza Aérea Colombiana, entes que manifiestan abiertamente un proceso competitivo el cual se ha mantenido su estructura licitatoria según lo ha exigido la ley 80 de 1993.

En lo que refiere a la comunicación por diferentes medios de información masiva se añade el del SECOP ,su evaluación sencilla predomina el factor precio conservando el modelo clásico.

Se evidencio y referencio amplia bibliografía con relación a estudios realizados en diferentes países, relacionados con la temática de La Teoría de Subastas. La revisión de diferentes bibliotecas Colombianas no generó bibliografía alguna en la que se relacione La Teoría de Subastas y más específicamente lo referente a modelos en sobre cerrado y su aplicación en algún sector específico de la Economía Colombiana. Al revisar las diferentes metodologías de evaluación en Licitación Pública en Colombia, se encontró un proceso similar al mencionado anteriormente.

Se analiza la situación en licitación Pública en Colombia en el sector de la construcción, encontrando un modelo clásico en el que existen elementos de valores comunes en un marco de agentes asimétricos y denomina a la situación como de valores comunes. Cuando las valoraciones tienen elementos de valor común el efecto de la asimetría de los agentes es muy importante. Se sabe que si el oferente tiene una cierta ventaja ,su valoración es extraída de una distribución más fuerte* , entonces tendera a ser agresivo en su oferta en este caso no se tuvo en cuenta ya que este supuesto de

distribución se tomo en relajación. Al tenerse en cuenta haría más grave el problema de “ la maldición del ganador”, en tanto ganarle a un oferente agresivo llevara a una revisión aun más profunda de la propia valoración propia de un trabajo de doctorado

Al entrar la etapa de validación de los resultados se tomo el proceso de Licitación Pública INF - 004 – 007 de La Alcaldía de Bucaramanga al cumplir con los factores vitales de modelo matemático ,proceso llevado a cabo en el Municipio de Bucaramanga por la Alcaldía de Bucaramanga con objeto de llevar a cabo la Construcción de la Plaza de Mercado del barrio Kennedy – Fase I del Municipio de Bucaramanga, Diciembre de 2007.el cual conserva características similares a las exigidas por el modelo de subasta al primer precio sobre cerrado, como lo son, un numero de oferentes, rango de ofertas, valoración del contrato objeto de la licitación , valores pujados y su única utilidad real .

En el proceso resultaron habilitados 7 compañías constructoras las cuales cumplían con los requisitos básicos exigidos en el pliego de reglas (pliego de condiciones del comprador), el precio base del contrato fue de mil veinticuatro millones novecientos ochenta y dos mil ciento ochenta y ocho pesos mcte. (\$ 1.024'982.188.), precio inicial de la licitación, sobre el cual presentaron Las respectivas ofertas en un rango comprendido entre \$817.299.431 y \$971.065.685, los costos de los materiales para la construcción tuvieron grandes fluctuaciones entre oferentes observándose que el oferente con menor valoración de los materiales de acuerdo al presupuesto emitido por la Alcaldía de Bucaramanga es el que postula el menor precio de puja con \$817.299.431 presentado por el Consorcio Edificar, quien a su vez, según los registros del proceso es la compañía es el que obtiene la menor utilidad de las postuladas, con \$24.580.434.

Las subastas de primer precio son robustas: a pequeños cambios en el modelo simétrico, se producen pequeños cambios en el equilibrio al que se llega, siendo además el único equilibrio. La existencia de indicios ciertos de asimetría entre los posibles oferentes, es entonces, un argumento fuerte para la utilización de subastas de primer precio en la asignación de tipos de contratos como concesiones.

Se discutieron en este trabajo los principales aspectos de la teoría de subastas centrando la temática en subastas a primer precio sobre cerrado a tener en cuenta en un diseño particular. Se discutió la propuesta de la Alcaldía de Bucaramanga de subastar el contrato de obra civil según mecanismo del valor de puja a la baja. No obstante es un modelo muy simple para tratar el problema de valores privados de la subasta. La simplicidad del modelo lleva a la conclusión acerca de la optimalidad de la subasta la cual goza de argumentos que la hacen relativa.

La elección en este caso del tipo de subasta dependerá de la magnitud de la aversión al riesgo de los oferentes y de la importancia del problema de valor común, así como de la influencia de ambos problemas en el ingreso esperado del subastador

En caso de existir asimetría entre los oferentes, la utilización de otro tipo de subastas no es adecuada aunque esta no es la temática de la investigación que entraría a comparar diversos tipos de metodologías y justificaría la utilización de subastas de primer precio. En este caso la utilización del valor presente de los ingresos como objeto de la subasta es una forma de minimizar el efecto que el problema de valor común genera en el resultado de la subasta.

7. RECOMENDACIONES

Con base en los resultados del presente trabajo se recomienda a las empresas del sector de la Construcción de Obra Civil que participan o aspiran a participar en Procesos Licitatorios en Colombia:

1. Recopilar, ordenar y sistematizar la información necesaria de todos los procesos en que se participe y, en lo posible, de los que han tenido la participación de los líderes del sector, con el fin de contar con una base estadística completa, teniendo en cuenta la diferenciación de acuerdo al Ente evaluador.
2. Mantener una base de datos, en lo posible, de cada uno de los competidores, pero principalmente, de los líderes del sector, de tal manera que se pueda alimentar sistemáticamente con la información que se requiere para analizar y pronosticar las posibles estrategias que podrían utilizar en futuros Procesos.
3. Generar políticas de investigación en las organizaciones, con el fin de mejorar el modelo planteado en el presente estudio por medio de la inclusión de otros factores que individualmente sean considerados como elementos importantes para la toma de decisiones, además, para generar nuevos modelos aplicados a procesos de Licitación Pública que utilizan otros criterios de evaluación distintos a los estudiados en la presente Investigación.
4. Realizar mayor inversión en ciencia y tecnología enfocada al análisis estadístico y el modelamiento de los procesos de Licitación, con el fin de realizar un análisis más profundo que sirva como herramienta a la hora de tomar las decisiones al momento de ofertar.

5. Mantener, fortalecer y ampliar las relaciones con las universidades con el fin de promover nuevos proyectos que permitan mejorar los procesos internos, permitiendo de esta manera avanzar de una manera más efectiva hacia los horizontes trazados por cada organización.

BIBLIOGRAFÍA

NASH, J. (1950): Puntos de Equilibrio en Juegos No Cooperativos, Tesis de Doctorado en Matemáticas, Universidad de Princeton (Nueva Jersey, Estados Unidos)

CASSADY, R. (1967): Auction an Auctioneering, University of California Press, Berkeley.

FRIEDMAN, J. (1986): Game Theory with Applications to Economics, Oxford University Press.

GIBBONS, R. (1993): Un primer curso de teoría de Juegos, Pág. 98, Antoni Bosch editores, 1ª Edición.

LEY 80 DE 1993, Estatuto General de Contratación de la Administración Pública. Congreso de Colombia.

MILGROM, P. (1996): Auctions and bidding: a primer. Journal of Economic Perspectives 3.

DAVIS, M. D. (1997): Introducción a la Teoría de Juegos. Alianza Editorial, p. 18 – 22.

MASKIN, E. Y RILEY, J. (1998): “Asymmetric Auctions”. Review of Economic Studies 67, pp. 413-438.

KEMPLERER, P. (1999): Auction Theory: A Guide to the Literature, Journal of Economic Surveys, 13(3), 227-286

VEGA Redondo, F. (1999): Economía y Juegos, Teoría y Aplicaciones, Págs. 222 – 225, A. Bosch Ed.

CHASE, Richard; AQUILANO, Nicholas y JACOBS, Robert (2000): Administración de la Producción y Operaciones: Manufactura y Servicios. 8ª ed. Bogotá: Mc Graw Hill.

PEREYRA, Andrés (2001): Teoría de subastas y concesiones de carreteras. Documentos de trabajo No. 17/01. Universidad de la República, Departamento de Economía, Uruguay.

HILLIER, Frederick and LIEBERMAN, Gerald (2002): Investigación de Operaciones, 923p. 7ª ed. México: Mc Graw Hill.

KRISHNA, V. (2002): Auction Theory, Academic Press, San Diego, California.

STEIL, Benn, VICTOR, David y NELSON, Richard (2002): Innovación Tecnológica y Resultados Económicos, p 98-119, Vol. 37.

DURÁ JUEZ, Pedro (2003): Teoría de subastas y privatizaciones: un modelo de reputación del vendedor. Tesis doctoral. Universidad Complutense De Madrid (Madrid, España)..

VÁZQUEZ, C. (2003): Modelos de Casación de Ofertas en Mercados Eléctricos, p 136.

PÉREZ, J.; JIMENO, J. L.; CERDA, E (2004): Teoría de Juegos, p. 113, Pearson – Prentice Hall.

Reeves, D. y Wellman, M. (2004): Informática de Estrategias de Mejor Respuesta en Juegos Infinitos de Información Incompleta, Págs. 88 – 89.

MORENO VIEYRA, Rodrigo Andrés (2005): Licitaciones de energía eléctrica, Tesis de Maestría. Pontificia Universidad Católica De Chile.

ALONSO PÉREZ, Estrella (2007): Modelos de subasta en un duopolio eléctrico con costes estocásticos. Tesis doctoral. Universidad Complutense De Madrid (Madrid, España).

Revista CONSTRUDATA (2007): Edición 145, LEGIS.