

APROXIMACIÓN A UN ANÁLISIS ECONÓMICO DEL COMPORTAMIENTO DE LOS AGENTES EN EL MODELO DE *MARKET SPLITTING* PARA LAS TRANSACCIONES INTERNACIONALES DE ELECTRICIDAD MEDIANTE TEORÍA DE JUEGOS Y EL USO DE LA CONJETURA *BERTRAND – EDGEWORTH*

Jorge Alberto Sierra Almanza*
Andrés Jaramillo Vélez**

RESUMEN

Este artículo presenta los resultados preliminares de un análisis microeconómico sobre el comportamiento de los agentes en el modelo actual de *Market Splitting* para Transacciones Internacionales de Electricidad TIE. El artículo intenta resolver el problema de equilibrio en las transacciones internacionales de electricidad bidireccionales a través de la conjetura *Bertrand - Edgeworth* aplicado al caso TIE Colombia-Ecuador. En el estudio se formularon las funciones objetivo del agente importador y exportador y se planteó un punto de partida para simular comportamientos estratégicos en múltiples escenarios.

Palabras clave: *Market Splitting*, Conjetura *Bertrand – Edgeworth*, Transacciones Internacionales de Electricidad TIE.

* IE. MsC- XM Compañía de Expertos en Mercados S.A. ESP.

** IE. MsC MBA – XM Compañía de Expertos en Mercados S.A. ESP.

ABSTRACT

The focus of this article is the application of microeconomic theory to model the agent's economic behaviour facing the Market Splitting scheme for the International Transactions of Electricity. Models of oligopoly are briefly discussed, then the Bertrand-Edgeworth conjecture is detailed examined.

Key Words: Market Splitting, *Bertrand -Edgeworth* conjecture, International Transactions of Electricity.

I. Introducción

Este artículo presenta una propuesta para el análisis desde la microeconomía sobre la manera como se comportan los agentes en el modelo de *Market Splitting* para el esquema de transacciones internacionales de electricidad. En la primera parte se presentan los antecedentes del esquema actual y algunas variantes. En la segunda parte se ilustran los modelos comunes de aproximación al análisis macroeconómico del comportamiento de los agentes y un modelo para simulación mediante resultados experimentales. Finalmente se presentan algunas conclusiones y posibilidades para estudios posteriores.

II. Transacciones internacionales de electricidad

A. Antecedentes

Existen muchas maneras de acoplar los mercados eléctricos con el fin de realizar intercambios de electricidad. Algunos sistemas se basan mayormente en contratos bilaterales (por ejemplo, Francia e Inglaterra) y otros con mecanismos de mercado, market splitting, market coupling, contratos por diferencias, etc. Un caso particular es el de Colombia – Ecuador objeto de este trabajo. Algunos sistemas subastan los derechos de transporte en las líneas de interconexión (caso Español) y otros usan precios nodales o zonales. No existe un método único ni otro que pudiera calificarse de "el mejor". Todo depende de las características específicas de los mercados involucrados, las asimetrías económicas, la composición del parque generador, la dotación de los recursos primarios, la composición y elasticidad de la demanda, etc.

La integración eléctrica en la Comunidad Andina de Naciones nació con la firma de la Decisión CAN 536, la cual estipula entre otros que los miembros de los países firmantes aseguran el libre acceso a las redes y no permiten discriminaciones de precios entre sus

mercados nacionales y los mercados externos. Según esta normativa, el uso físico de las interconexiones es consecuencia del despacho económico coordinado de los mercados e independiente de los contratos comerciales de compraventa de electricidad. Otro ejemplo de integración eléctrica es el MER en Centroamérica. En este esquema los países participantes optaron por diseñar una supra-regulación que considera las mismas reglas para todos los miembros.

B. Modelo TIE Colombia – Ecuador

Los intercambios de electricidad entre Colombia y Ecuador se han presentado con anterioridad a la entrada del esquema de despacho integrado de transacciones internacionales de electricidad TIE. En el esquema anterior a las TIE los intercambios de energía se realizaban mediante contratos bilaterales entre agentes de ambos países (como se hace hoy con Venezuela), es decir, un comercializador en Colombia, vende energía a un distribuidor o usuario final en el otro país y asume los costos necesarios para poder entregar dicha energía en la frontera.

Las TIE son un modelo de acoplamiento conocido como *Market Splitting*¹ en el que cada país conserva algunas de sus reglas internas para la formación de precio y suple sus necesidades de importación y exportación vía precios. Las TIE permiten optimizar entre otros el uso de diferentes patrones de hidrología (cuando un país tiene lluvias y el otro no), el uso de combustibles, la confiabilidad, la estabilidad de los sistemas (al interconectarse los sistemas, se convierten en uno solo más grande y por tanto menos vulnerable a inestabilidades por disparo de máquinas, variación de la demanda, etc).

La diferencia de precios entre los nodos en la frontera genera rentas como resultado de la congestión de un enlace internacional. Estas rentas se usan entre otros como alivios a restricciones técnicas del sistema de transporte y promoción de obras de energización rural como el fondo de energía social FOES. Estos fondos de energización se convierten en instrumentos de redistribución que de alguna manera palian los fallos del mercado, dado que algunas áreas pobres no tienen los recursos para desarrollar redes

¹ El Market Splitting es un método de subasta implícita mediante el cual el mercado se fracciona para obtener precios marginales por áreas y no un precio único de mercado. Este precio determina la manera de remunerar dichas áreas y obtener entre otros, señales de localización para construir plantas generadoras y eliminar problemas de restricciones.

de infraestructura o no significan polos de desarrollo atractivo para inversionistas privados.

Cada país calcula las curvas de precio y cantidad para la oferta y mediante una comparación de precios se determina el flujo de la transacción. Una vez se sabe el sentido, cada país determina sus necesidades de cantidad y se realiza finalmente una optimización conjunta que determina el precio de bolsa. Este juego se repite diariamente y en cada iteración intervienen variables aleatorias como la hidrología, el estado de las redes, etc. y determinísticas como los precios de combustibles, mantenimientos de centrales, líneas de transmisión, etc.

En la actualidad se discute en los diferentes foros del sector energético local y regional, si los beneficios obtenidos por el esquema realmente corresponden al espíritu de lo acordado en la decisión CAN 536. Desde la microeconomía clásica puede demostrarse que el beneficio social neto para ambos países honra el acuerdo mencionado (si bien intereses individuales tanto para productores como para consumidores pudieran verse afectados transitoriamente)².

El modelo que se presenta a continuación pretende en primera instancia representar el comportamiento de los agentes en un juego único mediante un modelo para simulación. Posteriormente se representará un modelo para juegos repetidos con el fin de buscar equilibrios de *Nash*, generar escenarios de estrategia y evaluar los verdaderos beneficios en el largo plazo.

III. Modelo de equilibrio

A. Conjetura *Bertrand – Edgeworth*

La idea original en el modelo de Edgeworth fue incluir en el modelo de *Bertrand* restricciones en la capacidad de producción. Lo anterior como una forma de demostrar que el problema del oligopolio es indeterminado, contradiciendo así el modelo de *Bertrand* que a su vez había objetado el modelo de competencia en cantidades planteado por *Cournot*.

2 A la fecha de redacción de este artículo, las exportaciones de electricidad a Ecuador han representado para Colombia cerca de USD500 millones, de los cuales la demanda colombiana ha debido pagar más de USD100 millones por aumento del precio de bolsa del sistema. Los beneficios para Ecuador han sido superiores a USD500 millones representados en ahorros de combustibles, restricciones y demanda no atendida.

La idea inicial planteada por *Edgeworth*, *Kreps* y *Scheinkman* (Kreps, 89) es demostrar que si las empresas compiten primero en capacidad productiva (eligen la cantidad) y luego eligen los precios, el resultado es un equilibrio de Cournot.

En general puede decirse que el modelo de Bertrand – Edgeworth intenta aplicar lo mejor de los modelos de Bertrand y Cournot. Un modelo completo en tal sentido sería aquel en el que los oligopolistas compiten en precios (a la Bertrand), tomando en cuenta las restricciones de capacidad productiva y que el resultado sea consecuente con el modelo de *Cournot*.

En esencia *Edgeworth* plantea que si dos agentes compiten entre sí por el precio, lo hacen con una restricción de dotación inicial y, por tanto, el equilibrio final no se parecerá al de competencia perfecta. En el modelo de *Cournot* "puro" la cantidad es la capacidad.

En el planteamiento de *Kreps* (Kreps y Scheinkman, 1983), cada empresa elige secretamente su capacidad de producción, sabiendo que una vez elegida, se escogerá el precio de oferta. Este juego de oligopolistas (duopolistas para este caso), se desarrollaría en dos etapas: En la primera, los generadores o representantes de generadores en un nodo eligen el tamaño de la(s) central(es) a la *Cournot* y una vez ya se sabe la cantidad juegan en precios a la *Bertrand* (juego típico del sector eléctrico *Spot*).

Este modelo se resuelve matemáticamente hacia atrás, es decir, se determina primero la situación de precios y luego la de cantidades (por esto la similitud del modelo TIE). En el equilibrio, el precio a que ambos convergen debe ser el mismo y está dado por la curva de demanda así:

$$\pi = f(p_1 + p_2) \quad (1)$$

El precio de equilibrio no puede ser mayor que el máximo es decir $\pi = f(p_{1max} + p_{2max})$ porque en ese caso alguno de los dos jugadores tendría capacidad excedentaria ociosa pudiéndola ofertar más barata para obtener mayor cantidad del mercado (a la *Bertrand*). Por otro lado el precio no puede ser inferior al de equilibrio ya que ambas empresas aumentarían sus beneficios aumentando su precio de oferta dado que desaprovecharían capacidad a un precio mayor. Esta sería la decisión racional, desplazar recursos caros en el sistema si pueden ser suplidos por importaciones de menor precio. Por lo anterior, el precio de equilibrio depende de

la capacidad elegida previamente en las dotaciones iniciales seleccionadas (Ventosa, 2002).

En la figura No.1 puede apreciarse el equilibrio general y el significado físico de cada parte del mismo:³

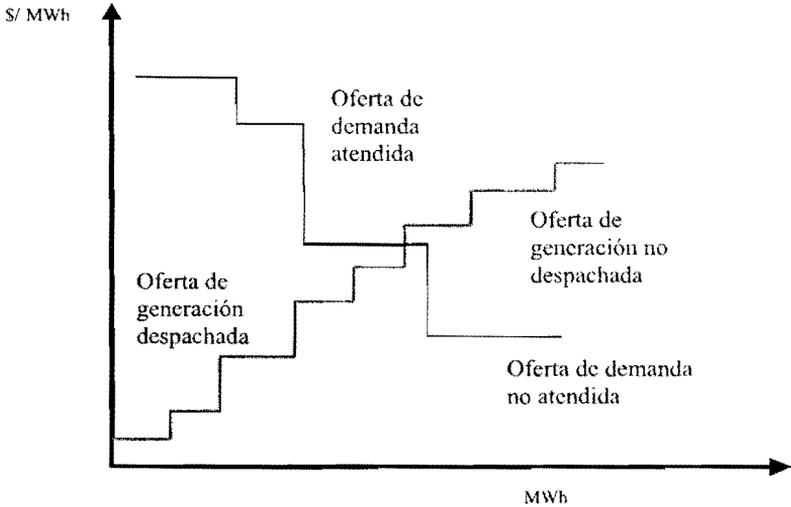


Fig. No 1. Equilibrio Económico Agente exportador

B. Modelo de equilibrio para simulación

Para el juego *Bertrand-Edgeworth*, se deben planear dos equilibrios, en el primero se decide la dirección de la transferencia y el rol que desempeña cada agente para el siguiente equilibrio y en el segundo se decide la cantidad a transar. Es necesario construir una función objetivo con variables de decisión en precios para el primer equilibrio y variables de decisión en cantidades para el segundo. La función objetivo del agente Exportador e Importador se construyó con base en los beneficios netos de realizar la transacción internacional. Esta función está determinada a partir de los costos de racionamientos asociados y la disminución del precio de bolsa.

Sin transacción, los agentes tienen unas condiciones propias que dependen únicamente de los recursos y precios de cada sistema, una vez establecida la dirección de la transacción⁴ se construye

3 La gráfica presenta el equilibrio general, aunque para el caso del mercado de la electricidad, la demanda es en general inelástica.

4 La dirección depende de los precios de importación y exportación de cada país. Ver Anexo No 1.

una curva de Oferta TIE-Importador, que representa la incorporación de la oferta del exportador en la oferta propia. Suponiendo que en un instante de tiempo se cumple la condición de precios⁵, automáticamente se definen los roles de importador y exportador para cada país, que para efectos del modelo, existen dos agentes uno importador y otro exportador y el rol puede intercambiarse según las ofertas de precios de cada uno.

Las figuras No 2 y 3 describen los equilibrios económicos del agente exportador e importador respectivamente, las áreas sombreadas representan los excedentes del consumidor y del productor sin transacción de electricidad, y se agregan las funciones de oferta y demanda resultantes de la transacción:

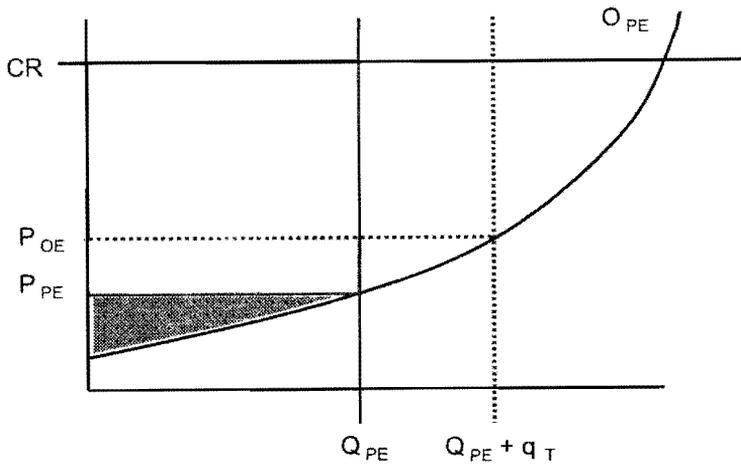


Fig. No 2. Equilibrio Económico Agente Exportador

Donde,

O_{pe} : Oferta propia exportador

P_{pe} : Precio propio exportador

P_{oe} : Precio de oferta exportador

Q : Cantidad de energía transada

Q_{pe} : Demanda propia exportador

⁵ Precio de importación de un país menor al precio de exportación del otro.

En el caso del agente exportador, la curva de oferta propia se mantiene intacta, los recursos del país abastecerán la demanda propia Q_{PE} y una cantidad q_T , que representa la cantidad de transferencia al país importador. El precio P_{PE} es el precio propio del país exportador y el P_{OE} es el precio al que está dispuesto a exportar⁶ la cantidad q_T . El país importador mantiene intacta su demanda propia Q_{PI} con la que obtiene un precio propio P_{PI} con la curva de oferta respectiva O_{PI} , pero al adquirir una nueva curva de oferta O_T alcanza un nuevo equilibrio en P_{TI} . Los valores CR son los precios asociados al costo de racionamiento de los países.

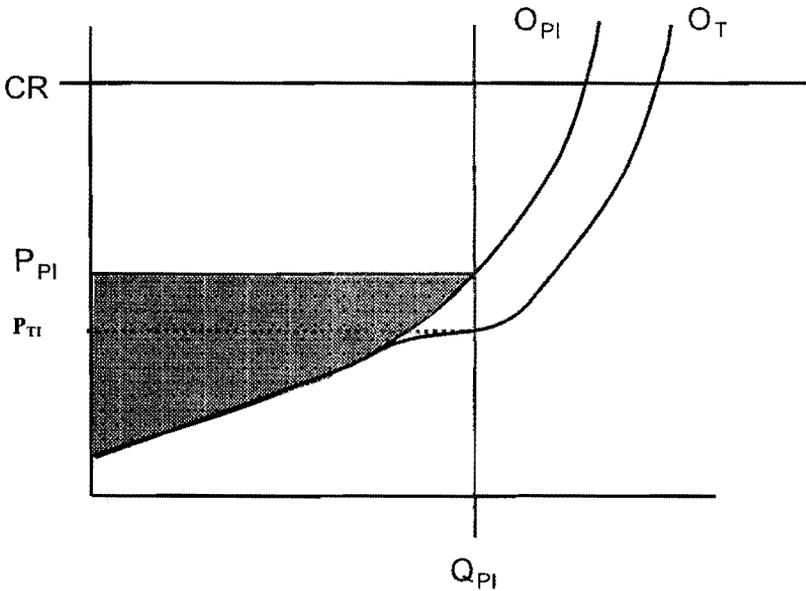


Fig. No 3. Equilibrio Económico País Importador

- O_{pi} : Oferta propia importador
- O_t : Oferta TIE - importador
- P_{pi} : Precio propio importador
- P_{oi} : Precio de oferta importador
- Q_{pi} : Demanda propia importador

Asumiendo comportamientos racionales de los agentes, el precio de oferta de importación debe ser menor o igual al precio propio

⁶ El agente no presenta un único precio, sino una curva conformada por segmentos. Ver Anexo No 1.

del importador y el precio de oferta de exportación debe ser mayor o igual al precio propio del exportador.

C. Función Objetivo

Dado que el precio de oferta del agente exportador es estrictamente mayor que el precio de compra del agente importador para que haya transacción, la función objetivo de cada agente tiene una discontinuidad en el punto en que estos precios son iguales, debido al cambio de roles por país (ver figura No 4).

La discontinuidad en el bienestar neto por agente no se presentará en el caso de países con funciones de oferta y de demanda iguales, por su parte, las diferencias entre exportador e importador si pueden estar muy marcadas por las rentas de congestión que se distribuyen con λ [$0 \leq \lambda \leq 1$], correspondiéndole λR al exportador y $(1-\lambda)R$.

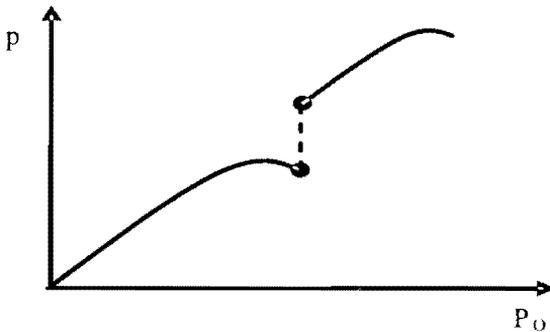


Fig. No 4. Discontinuidad de la función objetivo

El Beneficio neto de cada agente que le proporciona la transferencia se calcula a partir de la diferencia del beneficio social con transferencia y el beneficio social sin transferencia:

$$\pi = W_T - W_P = \Delta CS + \Delta PS + \lambda R \quad (2)$$

Donde,

W_t : Bienestar Social con Transferencia

W_p : Bienestar Social sin Transferencia

CS: Excedente del Consumidor

PS: Excedente del Productor

R : Rentas de Congestión

λ : Porcentaje de R para Exportador

El Beneficio Neto para el agente exportador es:

$$\begin{aligned} \pi_e = & q_T (P_{PE} + \lambda P_{OI} - \lambda P_{OE}) \\ & - Q_{PE} (P_{OE} - P_{PE}) - \int_{Q_{PE}}^{Q_{PE} + q_T} O_{PE}(q) dq \end{aligned} \quad (3)$$

Y el beneficio para el agente importador es:

$$\begin{aligned} \pi_i = & q_T (1 - \lambda) (P_{OI} - P_{OE}) \\ & + \int_0^{Q_{PI}} [O_{PI}(q) - O_T(q)] dq \end{aligned} \quad (4)$$

D. Funciones de reacción

En las transferencias internacionales de electricidad con carácter bidireccional cada país se comporta como perfecto sustituto del otro. Por ejemplo ante un escenario de escasez de uno de los países, el precio propio deberá reflejar la crisis con un valor cercano al costo de racionamiento o techo del mercado ($P_p \approx CR$).

Por racionalidad económica este país deberá exponer un precio de importación menor que su precio propio, ($P_{OI} \leq P_p$), pero al mismo tiempo y por razones de confiabilidad, que refleje una alta disposición a comprar ($P_{OI} \approx CR$).

En un caso extremo, dado que un país ofertó un precio de importación techo, CR , la función de reacción para el otro país en un juego de *Bertrand* obtiene un equilibrio en precio de exportación igual a cero:

$$P_{OE}^* (P_{OI} = CR) = 0 \quad (5)$$

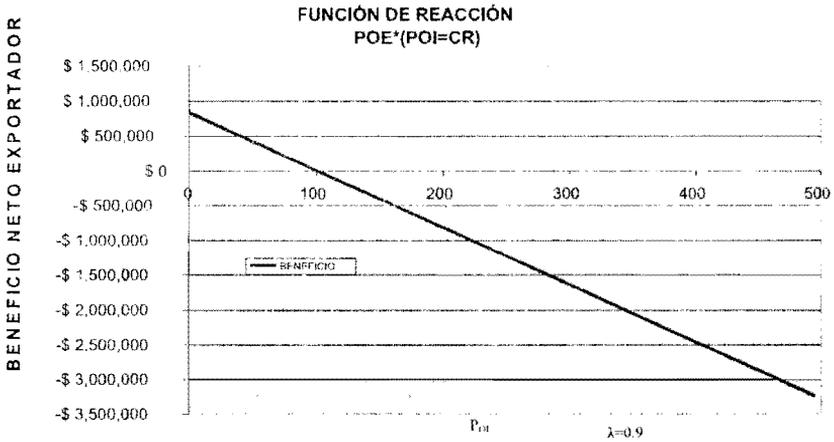


Fig. No 5. Función de Reacción País Exportador con Oferta techo de país Importador

Sin embargo la mejor respuesta del importador (ver figura No 6), dado que $P_{OE} = 0$, es:

$$P_{OI}^* (P_{OE}=0) = 0 + \varepsilon \quad (6)$$

Por lo tanto, el importador maximiza su beneficio neto al ofertar un precio mayor al del exportador en un valor numérico mínimo ($\varepsilon > 0$) que le permite seguir importando, mientras que el exportador se beneficia de la brecha entre ambas ofertas por el factor de distribución de la renta de congestión λ .

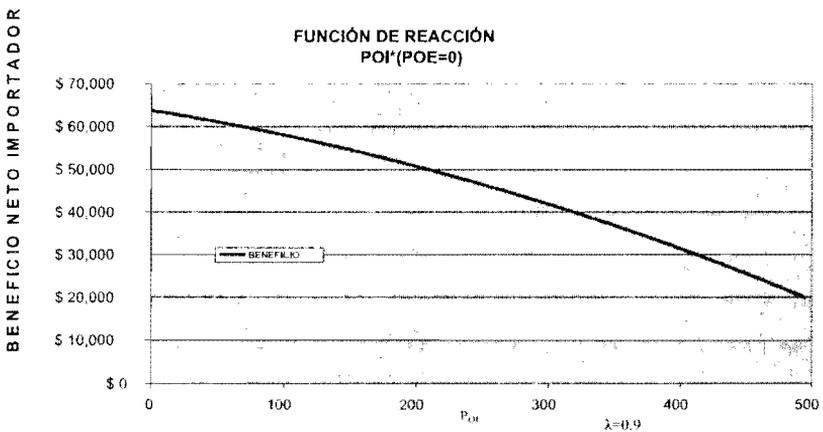


Fig. No 6. Función de Reacción País Importador con Oferta piso de país Exportador

Los múltiples equilibrios en distintos escenarios de condiciones de oferta de cantidad y precios pueden conjugarse con la asignación del factor de distribución de rentas de congestión para el exportador, λ , el cual juega un papel importante para alcanzar un equilibrio deseable para ambos países.

Para un mejor análisis se presenta en el Anexo 1 un esquema resumido del mecanismo transaccional de electricidad entre Colombia y Ecuador.

IV. Conclusiones

Este análisis preliminar permite modelar el comportamiento de los agentes en el esquema actual de Transacciones Internacionales de Electricidad TIE. La conjetura *Bertrand-Edgeworth* se ajusta al esquema transaccional y permite representar los equilibrios de mercado para diferentes situaciones operativas.

Mediante este modelo es posible demostrar no solo la existencia de equilibrios sino la utilidad de este tipo de esquemas transaccionales en cuanto a la maximización del beneficio social neto.

Las asunciones tomadas en cuenta para el modelo de no son “pesadas” en cuanto no suponen representatividad matemática y si aligeran los cálculos y análisis de resultados.

Este tipo de modelos sirve de base para la simulación de juegos estratégicos planteados con el fin de analizar los equilibrios encontrados y su impacto en el esquema de Transacciones Internacionales de Electricidad TIE entre Colombia y Ecuador.

Recepción: Febrero 18 de 2007

Aprobación: Mayo 9 de 2008

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Kreps D, J. Scheinkman. (1983). “Quantity precommitment and Bertrand competition yield Cournot outcomes”, *Bell J. Econ.* 14, pp. 326-337.

Kreps, David. (1989). *Game Theory and Economic Modeling*. Clarendon Lectures in Economics. EEUU.

_____. (1990). *A Course in Microeconomic Theory*. New York: Harvester Press.

XM – Compañía de Expertos en Mercados S.A. – *Boletín mensual del mercado*. Medellín 2006.

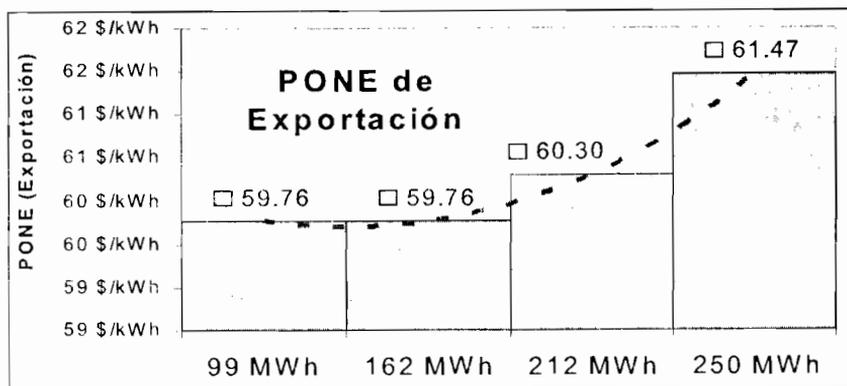
Ventosa, Mariano. (2002). *Modelos de sistemas de energía eléctrica*. Instituto de Investigaciones Tecnológicas IIT, Madrid.

COMUNIDAD ANDINA DE NACIONES – CAN. (2002). *Decisión 536, Marco general para la interconexión subregional de sistemas eléctricos e intercambio intracomunitario de electricidad*. Cartagena, Colombia.

ANEXO No 1.

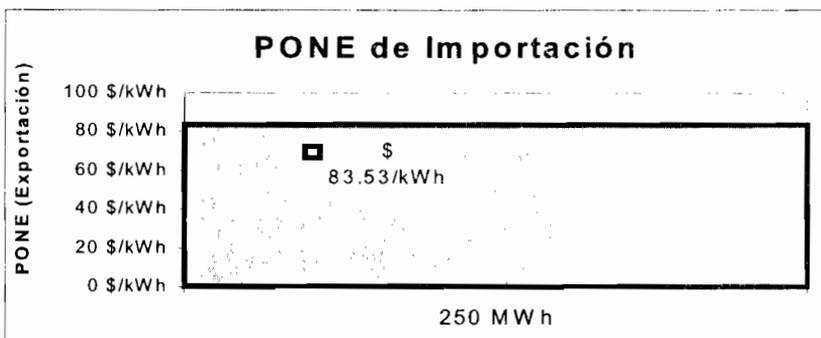
ESQUEMA DE TRANSACCIONES DE ELECTRICIDAD COLOMBIA-ECUADOR

La función de utilidad del agente (país) en su papel de Exportador y/o Importador se construyó con base en los beneficios netos de realizar la transacción internacional para el esquema TIE Colombia-Ecuador. En el esquema TIE cada agente expone dos curvas, la primera es la curva de disposición a vender:

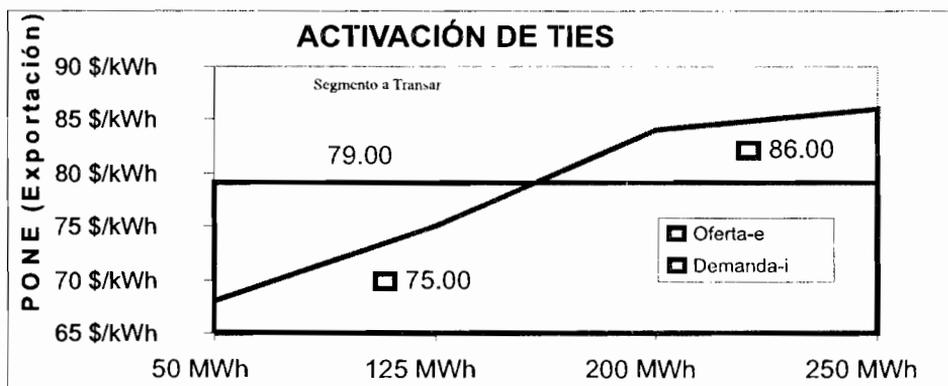


La cual consta de uno o varios segmentos de cantidades y precios dependiendo del tamaño de las plantas supramarginales (hasta copar la capacidad de la interconexión).

La segunda curva representa la disposición a comprar (un precio único para toda la cantidad deseada):



La transacción se activa en los segmentos en que el precio de exportación de uno de los agentes es menor que el precio de importación del otro (más un umbral).



La transacción de electricidad está limitada por la capacidad de transporte de la línea, 250MW y los precios piso y techo de cada país. La transacción genera una renta de congestión por diferencia de precios de exportación e importación que se distribuye entre los dos agentes y se destina directa e indirectamente a la demanda (alivio de restricciones y fondos para beneficio social) (CAN, 2002).