

TEORIA DE JUEGOS EN EL CAMPO DE LA EFICIENCIA ENERGETICA: ANALISIS DE LA DINAMICA INDUSTRIAL EN LA BUSQUEDA DE UN EQUILIBRIO DE NASH EFICIENTE

MAXIMILIANO F. CAMARDA

Comisión de Eficiencia Energética del Comité de Energía de Córdoba (CEC), Centro de Investigaciones y Estudios sobre Cultura y Sociedad (CIECS) - CONICET y UNC.

maxi_camarda@hotmail.com

Fechas recepción: Septiembre 2017 - Fecha aprobación: Octubre 2018

RESUMEN

En el presente trabajo se describe “El Juego de la Eficiencia Energética”, aquí se analiza la importancia del sistema de incentivos propuesto por el Estado y las condiciones de los mercados para fomentar las decisiones de inversión en Proyectos de Eficiencia Energética (PEE) en dos sectores industriales que producen bienes complementarios.

Este tipo de juegos, permite analizar la dinámica industrial en los procesos de búsqueda de un “equilibrio de Nash eficiente”, determinando las diferencias existentes respecto de una situación óptima en materia energética, económica y ambiental.

Desde esta perspectiva, el rol del Estado para lograr niveles significativos de ahorro energético, económico y reducción de gases de efecto invernadero (GEI), así como para incrementar el grado de competitividad de la Industria y la eficiencia general de la economía, es imprescindible.

En este sentido, el Juego de la Eficiencia Energética, junto a herramientas como la Inteligencia Artificial (*Machine Learning*) permiten desarrollar un enfoque proactivo en el campo de las políticas públicas, estableciendo sensores de alerta en cuanto al diseño, implementación y control de un “sistema de incentivos” altamente efectivo, con el fin de modificar los patrones de comportamiento de los agentes económicos de mercado encauzándolos sobre la senda del Desarrollo Económico Sustentable.

PALABRAS CLAVE: Teoría de Juegos - El Dilema del Prisionero - Programa de Eficiencia Energética - Sistema de Incentivos - Desarrollo Económico Sustentable.

ABSTRACT

This research describes “The Game of Energy Efficiency”. Here, it is analyzed the importance of the system of incentives suggested by the State and the conditions of the markets to encourage investment decisions in two industrial areas that produce complementary goods.

This kind of games allows to analyze the industrial dynamics in the process of searching an effective Nash Equilibrium; determining the differences that exist as to an optimal situation in energy, economic and environmental matters.

From this perspective, the role of the State is essential to achieve significant levels of energy and economic savings and a reduction of greenhouse gases (GHG); as well as to increase the grade of industry competitiveness and the general economy efficiency.

In this sense, the Game of Energy Efficiency along with Artificial Intelligence (Machine Learning) allows to develop a proactive approach in the field of public policies, establishing alerts as for the design, application and control of highly effective systems of incentives in order to modify the behavior patterns of economic markets leading them to the paths of Sustainable Economic Development.

KEYWORDS: Game Theory – Prisoner’s Dilemma – Program of Energy Efficiency – System of Incentives – Sustainable Economic Development.

1. INTRODUCCION

Las presiones del mercado y el Estado, en un mundo en constante cambio, que privilegia los temas ambientales como el cambio climático y los efectos adversos del calentamiento global y la sustentabilidad de los recursos naturales, obliga explícitamente o no, a que las empresas e industrias desarrollen una reingeniería en sus estructuras organizacionales con el objeto de dar respuesta a los desafíos del milenio en lo que concierne a un proceso de producción más limpio y sustentable.

En este sentido, la dinámica industrial y la competencia intra e intersectorial, en base a la Investigación y Desarrollo (I+D), tecnologías eficientes, recursos humanos altamente calificados, formas de producción sustentables, desarrollo de nuevas formas de energía, aplicación de PEE, etc. dan origen, por un lado, a un nuevo paradigma en los modelos de producción y gestión de las organizaciones, y por otro lado, a nuevas formas de mercados, como los denominados mercados de bienes y servicios relacionados con la Eficiencia Energética (EE) (Bouille, 1999; Lutz, 2001).

Ante estos nuevos desafíos, este trabajo pretende demostrar la importancia de la construcción sólida de un sistema de incentivos en el campo de las políticas públicas, que tenga por objeto fomentar la aplicación sistemática de Proyectos de Eficiencia Energética (PEE) a través de los sectores industriales, uno de los mayores consumidores de energía junto al sector transporte. Para ello, la Teoría de Juegos (aplicada conjuntamente con la Inteligencia Artificial), nos permitirá analizar la dinámica industrial y los procesos de convergencia hacia las metas deseadas en lo que respecta a las políticas industriales, energéticas y ambientales que delimite el Estado.

Esta nueva dinámica de interacción colectiva que se viene gestando entre los jugadores del *Mercado-Estado*, da origen al “*Juego de la Eficiencia Energética*”, un juego de estrategias donde la estrategia principal es la consolidación de la firma o industria, en un mundo donde el eje principal se basa en la producción sustentable a largo plazo, para poder lograr la supervivencia de la organización a través del tiempo.

Los cambios introducidos por el Estado, en materia legal, regulatoria, económica, financiera, tecnológica, convenios voluntarios, educación, etc. da origen a transformaciones significativas en las estructuras organizacionales y en los modelos de negocios de los jugadores, fomentando una nueva dinámica industrial que tiende a converger a un equilibrio de Nash, eficiente o ineficiente, dependiendo de las reglas de juego y el sistema de incentivos vigente (Carpio y Coviello, 2014).

Siguiendo esta lógica, el *Juego de la Eficiencia Energética*, nos muestra el camino crítico al que se encuentran expuestos los jugadores en un *Proceso de Transición Energética* hacia formas de inversión, producción y consumo más limpias y sustentables.

2. LA PARADOJA DEL FREE-RIDER EN EL CAMPO DE LA EFICIENCIA ENERGETICA

La comprensión e identificación de los “free-riders” en el campo de la energía, es una tarea sumamente relevante para los gobiernos, ya que nos permite identificar las deficiencias y fallas del sistema que generan importantes pérdidas de energía (costes energéticos, económicos y ambientales) en toda la cadena de valor de la misma, desde la extracción del recurso primario hasta que la energía en sus diversas formas de expresión (energía eléctrica, gas natural, GNC, GLP, combustibles líquidos, etc.) se encuentran a disposición de los distintos usuarios.

Muchos de los bienes más importantes suministrados por el Estado, como los programas públicos de sanidad y la defensa nacional, tienen la propiedad de que no es posible excluir a nadie de su consumo, lo cual hace

inviabile su racionamiento mediante el sistema de precios; como señala Stiglitz, “La renuencia de la gente a contribuir voluntariamente a la financiación de los bienes públicos se denomina el problema del polizón” (2000: 153).

En economía, negociación colectiva, psicología y ciencias políticas, los “free-riders” o “polizones” son los individuos o entidades (públicas, privadas, o mixtas) que consumen más de una parte equitativa de un recurso, o bien no afrontan una parte justa del coste de su producción (Bour, 2009).

En los *juegos de cooperación público-privada*, como por ejemplo en Programas de Eficiencia Energética (PEE) provinciales o nacionales, seguramente algunos sectores tendrán mayor interés por aportar un valor agregado adicional al sistema en su conjunto, y en particular, al desarrollo efectivo del PEE, ya que sus intereses dependerán tanto de su relación con el Gobierno como de los beneficios actuales y potenciales inherentes a su estructura de pagos y sistema de preferencias vigente (Gómez, Mathe y Sella Piedrabuena, 2013; Camarda, 2017).

En este sentido, existen empresas, grupo de empresas o determinados sectores industriales que realizan inversiones significativas en materia de EE en sus procesos o sistemas de gestión, perfeccionamiento del capital humano, desarrollo de tecnologías innovadoras y/o energías renovables, etc., generando un aporte crucial en materia de ahorro energético, económico y reducción de gases de efecto invernadero (principalmente dióxido de carbono (CO₂)); por otro lado, otro grupo de empresas o sectores industriales no implementan ningún tipo de acción voluntaria al programa, pero sí capitalizarán y absorberán los beneficios del mismo o bien las externalidades positivas generadas por los demás jugadores, fundamentalmente en aquellos sectores que producen bienes complementarios, comportándose de este modo como los denominados “*free-riders del campo de la eficiencia energética*”.

Los sectores industriales están compuestos por empresas grandes con solidez económica y financiera, y también por empresas del sector de la PyME y Micros, que no poseen los recursos económicos, financieros y humanos necesarios para realizar inversiones tendientes a mejorar y/o incrementar la EE en sus procesos o sistemas de gestión; dicha situación, merece ser apreciada desde el sector de la legislación y regulación por los Gobiernos, ya que demuestra claramente la presencia de un sistema de desincentivos y restricciones que obstaculizan el proceso normal de desarrollo y la efectividad de un PEE.

Por otra parte, supongamos que la industria en su conjunto opera en niveles de inversión óptimos, porque el sistema de incentivos es realmente

efectivo, pero existen otros sectores, como el sector público, transporte, residencial, etc. que poseen una estructura de comportamiento idéntica a los free-riders, ya que sus actividades no cumplimentan con los estándares mínimos requeridos en materia de eficiencia energética. Esta situación también debe ser analizada con el objeto de elaborar políticas públicas de carácter sistémico (que abarquen todos los sectores involucrados), a los efectos de diseñar un sistema de incentivos específico o selectivo, de acuerdo a los problemas y necesidades concretas de cada sector, con el fin de corregir las deficiencias en materia de ahorro energético, económico y ambiental existentes.

La presencia de free-riders en el campo de la EE, constituye claramente un problema de acción colectiva y de ineficiencia en el establecimiento de un sistema de incentivos, por parte de los encargados de diseñar las reglas de juego en el sector energético e industrial.

De acuerdo a OLADE (2013), un sistema de incentivos óptimo permite, construir señales claras de mercado a largo plazo y asignar eficientemente los recursos, tanto intra como intersectorialmente entre los diversos jugadores, y además, estimular una participación más activa y dinámica por parte de los distintos sectores de la industria, ya sean micros, PyMEs, o grandes empresas, logrando una lenta (los cambios producto de medidas y políticas de EE no suelen percibirse a corto plazo, se trata de un cambio cultural a mediano y largo plazo), progresiva y continua desaparición de la figura del *free-rider* en el campo de la eficiencia energética.

3. EL JUEGO DE LA EFICIENCIA ENERGETICA (JEE)

En la siguiente sección, se desarrolla uno de los típicos Modelos de Interacción Colectiva que se encuentran en la órbita de la Teoría de Juegos, se denomina "*El Juego de la Eficiencia Energética*". El objeto de este juego, es describir y analizar la dinámica sistémica subyacente en los patrones y estructuras de comportamiento de los distintos jugadores que desarrollan estrategias de bajo coste y diferenciación basadas en políticas y programas de eficiencia energética de acuerdo a las reglas de juego que establece el Estado y a las condiciones del mercado.

Aquí resulta importante analizar dos variables y los efectos que se derivan de ellas:

1. Las Políticas Públicas: ¿Qué políticas diseña, ejecuta y controla el Estado en pos de fomentar la EE y el cuidado de los recursos naturales?, y, ¿Cuáles son los efectos sobre la Industria, el medio ambiente, y la sociedad en su conjunto?

2. La Gestión Privada: ¿Cómo reaccionan los jugadores pertenecientes a la Industria y cuál es la dinámica empresarial ante cambios en las reglas de juego y el sistema de incentivos que establece el Estado?, y, ¿Cuál es el impacto en la sustentabilidad y competitividad de la Industria, el consumo y la intensidad energética y el nivel de emisiones de gases GEI, producto de la aplicación sistemática de PEE?

La comprensión de esta estructura lógica de acción colectiva y de los problemas de cooperación y coordinación inherentes, que conducen a resultados ineficientes en cuanto a ahorro energético, competitividad y calidad ambiental, nos brindará un mayor grado de precisión de la naturaleza del JEE (Shubik, 1996; Fernández, Fernández y Olmedillas, 2011a). Este modelo nos permitirá analizar la dinámica sistémica en los “juegos” que se establecen entre los actores del sector público y el sector privado, demostrando cómo se modifica el comportamiento y las estrategias de los distintos jugadores, y cuáles son las consecuencias en la matriz de pagos (costes y beneficios) para los jugadores industriales y además para la sociedad en su conjunto, a medida que cambia el sistema de incentivos vigente (Camarda, 2017).

La *representación en forma normal del juego* es la siguiente:

1. La presencia de los jugadores: En esta disciplina se suele enumerar a los jugadores de 1 a n , donde un jugador arbitrario es denominado jugador i . En nuestro caso $n=3$.

A: el Estado, encargado de diseñar, controlar y comunicar los resultados de un PEE; B: el sector metalmecánico; C: el sector automotriz (B y C: representan dos sectores industriales que producen bienes complementarios que evalúan la conveniencia de aplicar PEE).

2. Las estrategias de cada jugador: E_i es el conjunto de estrategias disponibles para el jugador i , llamado normalmente *espacio de estrategias* de i . Las estrategias de cada jugador i pertenecen al conjunto o espacio de estrategias del jugador i , es decir, $e_i \in E_i$, donde e_i representa cada una de las estrategias.

$E_i (e_1, e_2, e_3, \dots, e_n)$, representa las diferentes combinaciones posibles de estrategias a seguir por los jugadores.

Cada sector industrial tiene dos opciones (o estrategias): invertir o no invertir en desarrollar PEE en sus instalaciones, en lo que respecta a mejorar el nivel de calificación de sus recursos humanos, desarrollar una infraestructura energética innovadora y menos contaminante, mejorar sus capacidades de gestión sobre los recursos naturales, crear y utilizar información clave para tomar decisiones estratégicas, aplicar nuevas

tecnologías y procesos, desarrollar energías renovables, etc. Por otra parte, el Estado decide políticamente apoyar o no el progreso de un PEE estableciendo un determinado sistema de incentivos (legal, regulatorio, económico, financiero, tecnológico, convenios voluntarios, educación, asistencia técnica, etc.) (Lutz y col., 2001), que variará en un continuum de la suboptimización a la optimización de acuerdo a su grado de efectividad.

Las decisiones del Estado se pueden expresar de la siguiente manera:

- Decisión N° 1: Establecer un Sistema de Incentivos Óptimo (ESIO).
- Decisión N° 2: Establecer un Sistema de Incentivos Subóptimo (ESIS).

Respecto a las decisiones de las Industrias las mismas son las siguientes:

- Decisión N° 1: Invertir en Eficiencia Energética (IEE)
- Decisión N° 2: No Invertir en Eficiencia Energética (NIEE)

3. La función de ganancias de cada jugador, según la combinación de estrategias posibles: la función de ganancias del jugador i , la podemos expresar de la siguiente manera, $G_i (g_1, g_2, g_3, \dots, g_n)$, donde g_i representa la ganancia asociada a la estrategia e_i .

Siguiendo esta lógica, el *Juego de la Eficiencia Energética*, resultaría:

$$JEE = (E_1, E_2, E_3; G_1, G_2, G_3)$$

De acuerdo a las decisiones que adopten los sectores industriales buscando maximizar sus beneficios, la matriz de pagos (resultados del juego) cambiará su nivel de coste/beneficio en función del ahorro/desahorro energético que se pueda lograr en cada alternativa decisión; por otra parte, cada estrategia también genera una relación coste/beneficio para el Estado, quien en definitiva deberá responder por los problemas sociales, medioambientales y económicos que se producen cuando los costes marginales asociados a la ineficiencia en los procesos de gestión de recursos energéticos (por ej. contaminación ambiental, dilapidación de recursos naturales, importaciones excesivas de petróleo, multas por cortes de suministro, etc.) superan los beneficios marginales de la implementación de programas de eficiencia energética (Pereyra y Valquez, 2003; Comellas y Bucheri, 2010).

Habiendo definido los jugadores y las distintas decisiones que ellos pueden implementar, estamos en condiciones de presentar la dinámica de

interacción colectiva compatible con este tipo de juegos (véase FIGURA N° 1)¹:

- El Jugador “A”, es el encargado de definir las reglas del juego que delimitarán las acciones de cada uno de los jugadores (en nuestro caso “B” y “C”). En este sentido, el propósito de las reglas es definir la forma en que el juego se desarrollará.

- Celda N° 1: Si los jugadores “B” y “C” deciden invertir en el desarrollo e implementación de programas de eficiencia energética (IEE), ambos sectores obtienen ganancias monetarias anuales en el orden de US\$ 900 millones de dólares. Los cambios en los sistemas de gestión de los recursos estratégicos por las empresas de ambos sectores industriales, permite incrementar la eficiencia, ahorrar costes económicos (principalmente energéticos) y por ende mejorar el grado de competitividad industrial. Dichas acciones implican, la reducción de despilfarros en las plantas de producción, mayor eficiencia energética, menor contaminación ambiental, y un aumento en los planes de producción y ventas (motivados por una mayor demanda) debido a la mejora en la imagen de marca de las empresas que colaboran con el desarrollo sostenible y el cuidado del medio ambiente. El Estado, en este caso, debe definir un sistema de incentivos óptimo (ESIO) para generar dichas condiciones en los diferentes sectores industriales, ya sean empresas grandes, PyMEs, Micros, de uso intensivo o pasivo de la energía.

- Celda N° 2 y N° 3: Si un jugador (“B” por ejemplo) decide invertir en eficiencia energética (IEE) y el otro jugador (“C”) decide no hacerlo (NIEE), el primero obtendría ganancias por US\$ 600 millones de dólares, en tanto que el segundo sólo captaría US\$ 300 millones de dólares.

- Celda N° 4: Si ambos jugadores (“B” y “C”) no invierten en eficiencia energética (NIEE), porque el sistema de incentivos es de carácter subóptimo y las condiciones de los *Mercados de Bienes y Servicios de la Eficiencia Energética* no son propicias, sólo obtendrían ganancias por US\$ 200 millones de dólares cada uno, reduciendo en un 1/3 la posibilidad de acrecentar sus beneficios respecto de los valores de la celda N° 2 y N° 3 suponiendo que uno de los jugadores decide IEE.

Si los jugadores actúan como free-riders y suponen que el otro jugador decide IEE, sabiendo que ellos no lo harán, obtendrían US\$ 300 millones de dólares, es decir, obtendrían US\$ 100 millones de dólares adicionales tomando la misma decisión (NIEE), por apropiarse de los beneficios que los demás jugadores generan debido a una mayor reactivación

¹ Los valores monetarios de la matriz de pagos se encuentran expresados en millones de dólares estadounidenses por período anual.

económica (inversiones, producción, ventas y empleo) dada por el incremento del nivel de actividad económica en general y en especial, en la producción de bienes complementarios como el sector automotriz y el metalmecánico.

Tengamos presente, que el sector automotriz y el metalmecánico se encuentran estrechamente relacionados; la mayor demanda de automóviles inmediatamente genera un aumento de los factores de producción relacionados, como por ejemplo: motores, chasis, ejes de transmisión, suspensión, pistones, caja de velocidades, amortiguadores, etc., así como de insumos provenientes de otros sectores, tales como, neumáticos, pintura, radios, baterías, bolsas de aire, etc.

En este sentido, podemos afirmar que existe una probabilidad elevada de aparición de la figura de los “*Free-riders en el campo de la EE*” en aquellos sectores industriales que poseen una fuerte complementariedad en la producción final de bienes y servicios, y donde además existe una gran posibilidad de transferencias de rentas económicas entre los mismos; por el contrario, seguramente que en aquellos sectores que no posean un vínculo estrecho en la producción final de bienes y servicios, sea más difícil que los free-riders se aprovechen de las externalidades positivas que generan los jugadores que si deciden IEE (Stiglitz, 2000).

Desde esta perspectiva, las medidas de políticas públicas tendientes a incentivar una participación activa, dinámica y comprometida de los sectores industriales, no deben ser realizadas tratando a los sectores como compartimentos estancos, sino que deben tratarse con un enfoque eminentemente sistémico y proactivo, enfocándose en las relaciones intra e intersectoriales que se forman en las redes de trabajo a nivel empresarial (véase Lutz, 2001; Lutz y col., 2001; Poveda, 2007).

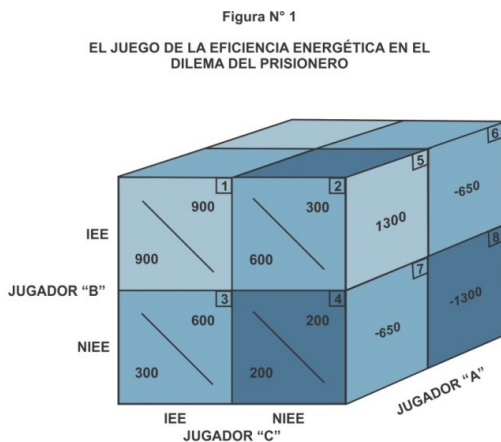
- Celda N° 5: Cuando un sistema de incentivos se encuentra definido correctamente y funciona efectivamente (en forma óptima), todos los jugadores se encuentran en condiciones de invertir en eficiencia energética (IEE), aquí el Estado se ahorra una cifra estimada y aproximada en el orden de US\$ 1.300 millones de dólares de erogaciones², y además obtiene un

² En Argentina la interrupción del servicio por EDESUR S.A. en febrero de 1999, como consecuencia de un problema en un cable de alta tensión, afectó a 150.000 residencias y locales comerciales provocando grandes pérdidas económicas, fundamentalmente en el sector comercial. Se estimó que las pérdidas ascendieron a US\$ 400 millones de dólares en particulares y cerca de US\$ 750 millones de dólares en el sector comercial, además de dos multas aplicadas por el Ente Nacional de Regulación de la Energía (ENRE) a EDESUR S.A. por valor de US\$ 70 millones de dólares. El coste total para el Estado representa US\$ 1220 millones más costes adicionales por la caída de la actividad y la recaudación, con lo cual hablamos de una cifra aproximada en el orden de US\$ 1300 millones de dólares, los cuales se toman de referencia sólo para ejemplificar el caso. Véase Del Rosso y Ghia (2012), “Efectos de la interrupción del suministro eléctrico y adaptación de los sistemas eléctricos a eventos extremos”. Área de Pensamiento Estratégico, Cámara Argentina de la Construcción, Octubre de 2012.

beneficio extra dado por el mayor nivel de recaudación proveniente de los sectores industriales que generan un mayor nivel de ganancias económicas.

- Celda N° 6 y N° 7: En el caso que sólo uno de los jugadores emprenda medidas de EE (IEE) y el otro jugador decida no realizar ningún tipo de acción con el fin de ahorrar energía (NIEE), el Estado reduce su coste aproximadamente a la mitad, es decir, se ubica en el orden de los US\$ 650 millones de dólares de pérdidas.

- Celda N° 8: En esta situación ninguna empresa/sector industrial decide invertir en fomentar la eficiencia energética (NIEE), porque el sistema de incentivos no funciona efectivamente (ESIS) y/o las condiciones de mercado resultan adversas (precio de la tecnología, sistema tarifario, tipo de cambio, coste del crédito, etc.). En la lógica de la acción colectiva, si dicho comportamiento puede trasladarse al resto de las industrias (en especial las que hacen uso intensivo de la energía) y la sociedad (usuarios residenciales), es altamente probable que en momentos picos de la demanda de energía eléctrica (fundamentalmente en época de verano e invierno) el sistema de distribución colapse, generando importantes pérdidas económicas para la industria, el comercio, los servicios y particulares, además para la sociedad en su conjunto. Ello representa un coste estimado para el Estado en el orden de US\$ 1.300 millones de dólares.



Nota: Los valores de la matriz se encuentran expresados en millones de dólares.
Fuente: Elaboración propia en base a Shubik (1996) y Bimmore (2011).

El Dilema del Prisionero parte del supuesto que ambos jugadores son sujetos racionales autointeresados y privilegian sus ganancias individuales por

encima del resto de los jugadores. En este caso, suponemos que los jugadores tienden a comportarse como free-riders, ya que no poseen los incentivos (véase TABLA N° 2) y la información adecuada para realizar acciones con el objeto de promover la EE, y en este sentido, tenderán a apropiarse de los beneficios que generen los jugadores que si inviertan en ella.

Siguiendo esta dinámica colectiva, con las características del sistema de incentivos vigente, ningún jugador tenderá a promoverá el uso racional de la energía porque considera que el resto de jugadores no lo hará y se apropiarán de sus beneficios. El comportamiento racional tal como se encuentra definida la estructura del juego, conduce a un *equilibrio de Nash*, puesto que ningún jugador puede beneficiarse cambiando de estrategia dadas las decisiones del resto de jugadores, por lo que dicha situación nos conduce a los pagos de la celda N° 4. El equilibrio en esta celda representa un resultado ineficiente respecto al proceso de asignación de recursos, es decir, no se trata de una situación “Pareto óptima”, ya que todos los jugadores podrían estar mejor, tanto desde el punto de vista económico, como ambiental y social, cooperando y coordinando sinergias en pos de reducir la intensidad energética y el nivel de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) por medio de las acciones basadas en la eficiencia energética (véase Fernández, Fernández y Olmedillas, 2011b).

4. ANALISIS DEL EQUILIBRIO DE NASH

De acuerdo a Binmore, “El equilibrio de Nash tiene lugar cuando todos los jugadores eligen a la vez la mejor respuesta a las elecciones estratégicas de los demás” (2011: 29). Hay dos razones principales para preocuparse por los equilibrios de Nash, “La primera supone que idealmente los jugadores racionales razonan para llegar a una solución del juego. La segunda supone que la gente llega a la solución del juego mediante un proceso evolutivo de ensayo y error” (Binmore, 2011: 29).

Por lo tanto, un “*equilibrio de Nash*”, es una situación en la que todos los jugadores ejecutan una estrategia que maximiza sus ganancias individuales, considerando dadas las estrategias de los demás rivales. En este caso, se logra el mejor de los resultados individualmente para cada jugador, pero no el resultado para todos en su conjunto, en este sentido, es probable que los jugadores cooperen y coordinen su accionar a los efectos de maximizar el beneficio colectivo (es muy conocida esta situación en los casos de oligopolios), en la medida que exista una arquitectura y un sistema de incentivos selectivos que lo permita.

Según Nash, en un juego de n jugadores, cada uno dispone de un conjunto finito de estrategias puras, en el que cada jugador elige una

estrategia mixta definida como una distribución de probabilidad sobre un conjunto de estrategias puras. Las estrategias de los n jugadores se pueden considerar como un perfil o colección de n estrategias, donde los pagos esperados que recibirá cada jugador dependen de dicho "*perfil de estrategias*". Dado un cierto perfil arbitrario de estrategias, Nash define "*perfil de respuesta óptima*" a todo perfil de n estrategias en donde la estrategia de cada jugador nos otorga el máximo pago frente a las estrategias de los otros $n - 1$ jugadores, de acuerdo al perfil arbitrario de estrategias inicial (Streb, 2015).

Los valores de la celda N° 1 y la celda N° 4, constituyen dos equilibrios de Nash con matices distintos y opuestos. En la celda N° 1, dado que el jugador "B" definida la decisión del jugador "C", no puede mejorar con ninguna estrategia sus pagos entonces dicho jugador tiende a quedarse en dicha situación; de modo similar, dado que el jugador "C" definida la decisión del jugador "B", tampoco puede mejorar sus pagos entonces tiende a ubicarse en dicho lugar, donde cada uno recibe pagos o genera beneficios por valor monetario de US\$ 900 millones de dólares anuales (beneficio colectivo de las industrias de US\$ 1800 millones de dólares anuales), constituyendo éste un "*equilibrio de Nash eficiente*".

Por otra parte, los pagos de la celda N° 4, suponen un beneficio conjunto de US\$ 400 millones de dólares anuales repartidos en partes iguales (US\$ 200 millones de dólares para cada industria), constituyendo un "*equilibrio de Nash ineficiente*". Dado que ambos jugadores obtienen pagos positivos, pero inferiores a la celda N° 1, se considera una situación ineficiente en el sentido que ambos jugadores podrían estar mejor si cooperaran y coordinaran sus estrategias, pero como ninguno posee información o certeza de lo que hará el otro en cuanto a acciones y resultados de estrategias de EE, tienden a quedarse tal como están, asegurando no realizar inversiones o tomar riesgos en vano ante la actitud de free-rider que pueda tener el jugador que decida no hacer nada (respecto a la celda N° 2 y N° 3), pero perdiendo la posibilidad de estar en una situación mejor (respecto a la celda N° 1).

Siguiendo a Poveda (2007), este último equilibrio representa un caso de suboptimización de los recursos utilizados en las plantas industriales, donde existe capacidad ociosa no utilizada para invertir en EE (la eficiencia energética se vuelve un recurso no aprovechado), ya sea, en la producción de energías renovables, desarrollo e implementación de tecnologías limpias, modificación de los sistemas de gestión y procesos, capacitación y/o contratación de personal idóneo en temas energéticos, realización de auditorías y diagnósticos energéticos, implementación de normas ISO 50001, etc. (especialmente en el segmento de la PyME y Micros).

5. DINAMICA INDUSTRIAL EN LOS PROCESOS DE CONVERGENCIA HACIA "LOS EQUILIBRIOS DE NASH"

Si las industrias representadas por los jugadores “B” y “C” (en la práctica podríamos tomar el resto de sectores industriales o usuarios de la energía) se sitúan en un equilibrio de Nash ineficiente en donde dichos jugadores deciden jugar “No Invertir en Eficiencia Energética (NIEE)”, podríamos tratar de modificar el resultado del juego y el comportamiento de los jugadores, desplazándonos hacia el equilibrio de Nash eficiente, donde ambos deciden jugar “Invertir en Eficiencia Energética (IEE)”. Cabe aclarar, que este proceso de transición no resulta sencillo, ya que requiere de un gran esfuerzo colectivo y de reglas de juego claras a largo plazo, por tratarse de cambios trascendentes en las políticas del Estado y la gestión de recursos en el sector privado.

Para que el “JEE” pueda tener consistencia y permanencia a través del tiempo, es necesaria la presencia del jugador “A”, el Estado, definiendo las reglas en las que se basará el mismo, así como también dando a conocer el marco normativo y regulatorio del sector eléctrico y la Generación Distribuida de Energías Renovables integrada a la Red Eléctrica Pública, la política energética, los incentivos a la Industria y a los mercados de bienes y servicios de la EE, etc.

En este sentido, la decisión de “Establecer un Sistema de Incentivos Subóptimo (ESIS)” nos conduce hacia los resultados de la celda N° 4, en tanto que en el continuum hacia la celda N° 1, los esfuerzos en reelaborar políticas, reasignar recursos y rediseñar el sistema de incentivos, son compatibles con la decisión de “Establecer un Sistema de Incentivos Óptimo (ESIO)”. Estas decisiones, son claves en un *Proceso de Transición Energética*, hacia la conformación de una matriz energética e industrial altamente competitiva, eficiente y sustentable (Camarda, 2017).

A pesar de los esfuerzos por lograr modificar y redireccionar los patrones de comportamiento de los sectores industriales, los mismos no serán fáciles de realizar, ya que la estructura de pagos del juego tal como se encuentra definida no lo permite. Las razones son las siguientes: supongamos que las industrias se encuentran en el equilibrio de la celda N° 4, y el jugador “B” decide empezar a aplicar proyectos de EE en sus instalaciones, aunque el jugador “C” decide no hacerlo, en este caso, “B” sólo triplicaría sus beneficios sabiendo que podría incrementarlos mucho más, y “C” por el contrario aumentaría sus beneficios en un 50% actuando como free-rider. Si ocurriera lo contrario, es decir, “C” decide IEE y “B” decide NIEE, el análisis es similar al mencionado, sólo que cruzando los pagos.

Si la estructura del juego en general y la de pagos en particular no generan los incentivos adecuados, los jugadores tenderán a mantenerse en un equilibrio, sólo que ineficiente para ambos. Aquí, el grado de

competitividad, rentabilidad, el nivel de emisiones de gases GEI, la intensidad energética y el ahorro económico y energético para las industrias, muestran claramente resultados desalentadores producto de la ineficiencia sistémica generalizada (véase TABLA N° 1).

Según, Binmore “Quizás el papel más importante de la teoría de juegos sea insistir en que toda reforma requiere la coordinación de los comportamientos en un “equilibrio” si tienen que sobrevivir a largo plazo. Si no existe un equilibrio satisfactorio por el que cambiar, como en el solitario de Shelling, inventar un nuevo tipo de racionalidad que de algún modo oculte las incoherencias del comportamiento individual que implica un juego fuera del equilibrio sólo puede empeorar las cosas” (2011: 96).

TABLA N° 1: Características de los extremos entre el equilibrio de Nash ineficiente y el equilibrio de Nash eficiente en el campo de la EE

Cuenca de Atracción del equilibrio de Nash Ineficiente	Cuenca de Atracción del equilibrio de Nash Eficiente
En materia de Eficiencia Energética: - Menor Ahorro Energético - Mayor Intensidad Energética - Menor Ahorro Económico	En materia de Eficiencia Energética: - Mayor Ahorro Energético - Menor Intensidad Energética - Mayor Ahorro Económico
En materia Empresarial: - Menor competitividad industrial - Menor eficiencia económica - Menor grado de calidad industrial	En materia Empresarial: - Mayor competitividad industrial - Mayor eficiencia económica - Mayor grado de calidad industrial
En materia Macroeconómica: - Menor reactivación económica - Menor nivel de inversiones (públicas/privadas) - Menor nivel de producción agregada - Menor nivel de generación de empleo	En materia Macroeconómica: - Mayor reactivación económica - Mayor nivel de inversiones (públicas/privadas) - Mayor nivel de producción agregada - Mayor nivel de generación de empleo
En materia de Conocimiento: - Menor nivel de transferencia científico técnica - Menor nivel de Investigaciones y Desarrollo (I + D)	En materia de Conocimiento: - Mayor nivel de transferencia científico técnica - Mayor nivel de Investigaciones y Desarrollo (I + D)
En materia de Cooperación: - Menor nivel de cooperación público/privada - Menor desarrollo de acciones colectivas eficientes	En materia de Cooperación: - Mayor nivel de cooperación público/privada - Mayor desarrollo de acciones colectivas eficientes
En materia de Teoría de Juegos: - Diseño de Mecanismos de Incentivos Subóptimos - Niveles bajos de beneficios de la matriz de pagos - Se mantiene la figura del free-rider en el sector eléctrico e industrial - Seguir con la estructura del Dilema del prisionero en el Juego de la Eficiencia Energética (Subóptimo Paretiano)	En materia de Teoría de Juegos: - Diseño de Mecanismos de Incentivos Óptimos - Niveles más altos de beneficios de la matriz de pagos - Tiende a desaparecer la figura del free-rider en el sector eléctrico e industrial - Romper con la estructura del Dilema del prisionero en el Juego de la Eficiencia Energética (Óptimo Paretiano)

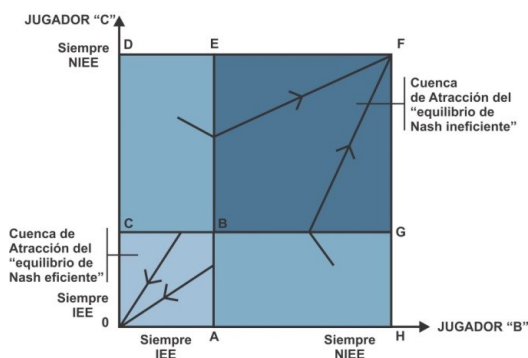
Fuente: Elaboración propia en base a Stiglitz (2000), Consejo Mundial de la Energía (2010) y Binmore (2011).

Siguiendo este razonamiento, como lo señala Binmore (2011), la *cuenca de atracción del equilibrio de Nash ineficiente* es grande y la *cuenca de atracción del equilibrio de Nash eficiente* es pequeña, por ello, es difícil y

complejo que la evolución nos aleje de la ineficiencia sistémica y nos introduzca en la zona de eficiencia económica y eficiencia energética (véase FIGURA N° 2). El rol del Estado resulta crucial en la conformación, tamaño y grado de intensidad que posean las cuencas de atracción, y en las modificaciones de las mismas a través del tiempo.

Figura N° 2

EL PAPEL DEL SISTEMA DE INCENTIVOS EN LA CONFORMACIÓN DE LAS CUENCAS DE ATRACCIÓN DE LOS EQUILIBRIOS DE NASH



Fuente: Elaboración propia en base a Binmore (2011), "La Teoría de Juegos. Una Breve Introducción".

Cuando desde la órbita del Estado no se utilizan los instrumentos y se diseñan adecuadamente las reglas de juego en torno al sistema de incentivos que recibe la industria, pues entonces, no podremos ver otros resultados distintos a los pagos de la celda N° 4 y los costes sociales de la celda N° 8 (Lutz, 2003; Consejo Mundial de la Energía, 2010).

Por el contrario, si desde la política energética e industrial, diseñamos una arquitectura de incentivos óptima, a través de los diferentes instrumentos que tenemos a disposición (véase TABLA N° 2), a medida que transcurre el tiempo y dichos cambios logren incorporarse en las políticas de gestión del sector privado, podremos conseguir "invertir las cuencas de atracción del equilibrio de Nash", es decir, la cuenca de atracción del equilibrio de Nash eficiente tenderá a hacerse cada vez más grande expandiendo el área (OABC) del gráfico y reduciendo progresiva y sistemáticamente la cuenca de atracción del equilibrio de Nash ineficiente medida por el área (BEFG).

Un *Proceso de Transición Energética*, implica la búsqueda sistemática de múltiples equilibrios de Nash eficientes a través del tiempo, donde cada uno de ellos representa mejores indicadores de bienestar para la industria y la sociedad. La Inteligencia Artificial (Machine Learning), puede aportar grandes

beneficios para sistematizar las decisiones de los jugadores y volverlas cada vez más eficientes y “sustentables”. La *Transición Energética*, nos aleja de la zona de ineficiencia económica y energética y nos acerca a una zona de mayor competitividad y eficiencia sistémica, es un claro proceso de transposición de la matriz de pagos.

TABLA N° 2: Grado de Aplicación de los diversos Instrumentos de Promoción de la Eficiencia Energética en los distintos Sectores de Consumo

Sector/ Instrumentos	Legal - Regulatorio	Incentivos Económicos	Información, Asistencia Técnica y Capacitación	Investigación, Desarrollo y Demostración	Convenios Voluntarios	Promoción de Mercados de EE
Industrial	Bajo	Medio	Alto	Alto	Alto	Medio
Comercial	Medio	Bajo	Medio	Medio	Medio	Alto
Público	Bajo	Bajo	Medio	Bajo	Bajo	Medio
Residencial	Alto	Alto	Alto	Bajo	Bajo	Bajo
Transporte	Medio	Medio	Medio	Medio	Bajo	Bajo

Fuente: Elaboración propia en base a Lutz y col., 2001.

Por otra parte, las áreas rectangulares (BCDE) y (ABGH) representan aquellas decisiones en donde uno de los jugadores decide IEE en tanto que el otro jugador decide NIEE, es decir, se trata de situaciones donde el Estado no elabora un sistema de incentivos óptimo (ESIS), ya que sólo uno de los jugadores tiene incentivos para invertir, lo que genera fuertes asimetrías en la percepción de los beneficios y en las posibilidades de inversión de las distintas industrias. En algún punto, puede ocurrir que ambas cuencas de atracción posean idéntico tamaño, fuerza o intensidad, por lo que el área (OABC) será exactamente igual al área (BEFG), ello significa que existe la misma cantidad de jugadores que toman decisiones de IEE o NIEE respectivamente, y los valores monetarios correspondientes a los pagos en ambas celdas son idénticos.

En el corto plazo, es muy probable que los empresarios mantengan sus decisiones, ya que les resulta indistinto operar en equilibrios eficientes o ineficientes, ya que no pueden incrementar sus utilidades; pero a mediano y largo plazo, si el sistema de incentivos se mantiene obsoleto respecto de la situación económica, tecnológica, ambiental, etc. actual, es muy probable que la mayoría de los jugadores prefieran comportarse como free-riders y decidan no realizar ningún tipo de esfuerzo en materia de EE, ya que la estructura del juego y de pagos del sistema tal como se encuentra definida (reglas e incentivos selectivos) no permite a los inversores privados mejorar su perfil de beneficios actuales y potenciales.

Esto implica que los jugadores que se sitúan en la celda N° 1 se trasladarían progresivamente a la celda N° 4, con lo cual el tamaño de la cuenca de atracción del equilibrio de Nash ineficiente incrementaría su amplitud, con las desventajas asociadas tanto para la industria como para la sociedad en su conjunto, en lo que concierne a pérdida de competitividad y rentabilidad, mayor contaminación ambiental y desahorro energético, etc.

6. CONCLUSIONES

Las preguntas que debemos hacernos en el sector de energía eléctrica (así como en otros sectores como la minería, el petróleo, las telecomunicaciones, el gas natural, los recursos hídricos, etc.) son entre otras: ¿Quién o quiénes compensan las ineficiencias del sistema?, ¿Hasta cuándo los compensadores estarán dispuestos a seguir realizando dichas compensaciones?, ¿Cuál es el costo político, económico y social de mantener dichas compensaciones y/o de dejar de hacerlo? y ¿Qué estructuras, en el diseño de mecanismos, nos llevarían a mejorar la eficiencia en la asignación de los recursos escasos obteniendo como resultado un óptimo paretiano?

El grado de efectividad de la EE en la industria para lograr los resultados deseados, depende del grado de consistencia del sistema de incentivos que elabore el Estado y el impacto que el mismo posea sobre la performance industrial; de esta manera, producto de la interacción de las decisiones entre IEE y NIEE, podremos movernos en un continuum que oscila entre el equilibrio de Nash ineficiente y el equilibrio de Nash eficiente.

Cuando no existen reglas de juego claras, un marco normativo sólido pero a la vez flexible, un sistema de información completo, oportuno y accesible para tomar de decisiones, una autoridad de aplicación objetiva y transparente, un sistema financiero desarrollado, tecnologías accesibles, mercados de bienes y servicios de la EE desarrollados, etc. es altamente probable que la eficiencia productiva en la gestión de la energía sea baja y ello además genere fuertes incentivos para la aparición de la figura del free-rider; en estos casos, la gran mayoría de los jugadores pierde, la industria reduce su competitividad, el Estado tiene que afrontar fuertes costes (más indemnizaciones por contaminación y cortes de energía, más inversiones, menor recaudación, etc.) y la sociedad padece los problemas relacionados al calentamiento global en general y en particular, a las deficiencias asociadas a la prestación del servicio de energía eléctrica.

Por el contrario, si el sector privado, el sector público, el sector del conocimiento y la sociedad civil avanzan en un trabajo conjunto basado en la cooperación y coordinación de necesidades y esfuerzos, donde el desarrollo sostenible sea la meta principal, podríamos transitar una dimensión espacio-temporal donde el desarrollo científico, la innovación tecnológica, el marco

normativo y regulatorio y las inversiones limpias se orienten hacia una situación Pareto óptima, o bien, estaríamos cada vez más cerca de alcanzar un óptimo paretiano.

Dentro de esta perspectiva, según Krause (1999), es crucial una definición clara de un conjunto de reglas de juego, que tiendan a fomentar y conducir la eficiencia económica de los diversos sectores industriales hacia una senda basada en el desarrollo económico sustentable, y nos permita avanzar en la búsqueda de un equilibrio de Nash eficiente. Para ello, el Juego de la Eficiencia Energética delimita el camino crítico a seguir con el objeto de ampliar continua y sostenidamente la cuenca de atracción del equilibrio de Nash eficiente, y, en simultáneo, reducir progresivamente la cuenca de atracción del equilibrio de Nash ineficiente, que sólo conduce a la degradación de los recursos naturales, la ineficiencia energética, la contaminación ambiental y la pérdida de competitividad industrial.

7. REFERENCIAS

BINMORE, K. (2011): "LA TEORIA DE JUEGOS. UNA BREVE INTRODUCCION". Alianza Editorial S.A., Madrid, 2011.

BOUILLE, D. (1999): "LINEAMIENTOS PARA LA REGULACION DEL USO EFICIENTE DE LA ENERGIA EN ARGENTINA". Serie Medio Ambiente y Desarrollo N° 16, Proyecto CEPAL/COMISIÓN EUROPEA "Promoción del Uso Eficiente de la Energía en América Latina". Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), Santiago de Chile, 1999.

BOUR, E. A. (2009): "METODOS ECONOMICOS, DERECHO Y ECONOMIA". XLIV Reunión Anual, anales de la Asociación Argentina de Economía Política, Noviembre de 2009.

CAMARDA, M. (2017): "EFICIENCIA ENERGETICA Y COMPETITIVIDAD INDUSTRIAL: ANALISIS DEL SISTEMA DE INCENTIVOS EN TORNO AL PROGRAMA PROVINCIAL ENERGIA EFICIENTE (ProPEE)". Revista Administración Pública y Sociedad, N° 3, Junio de 2017, Instituto de Investigación y Formación en Administración Pública (IIFAP), Facultad de Ciencias Sociales de la Universidad Nacional de Córdoba.

CARPIO, C. y COVIELLO, M. (2014): "EFICIENCIA ENERGETICA EN AMERICA LATINA Y EL CARIBE: AVANCES Y DESAFIOS DEL ULTIMO QUINQUENIO". Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), Santiago de Chile.

COMELLAS, E. y BUCCHERI, M. (2010): "RACIONALIDAD, INCENTIVOS, CONFLICTOS Y JUEGOS: NUEVAS AREAS DE LA ECONOMIA

APLICADAS A LA GIRH". Instituto Nacional del Agua - Centro de Economía, Legislación y Administración del Agua (INA - CELA).

CONSEJO MUNDIAL DE LA ENERGIA (2010): "EFICIENCIA ENERGETICA: UNA RECETA PARA EL ÉXITO - RESUMEN EJECUTIVO - POR UNA ENERGIA SUSTENTABLE". Traducido por el Comité Argentino y el Grupo de Eficiencia Energética del CACME.

DEL ROSSO, A. y GHIA, A. (2012): "EFECTOS DE LA INTERRUPCION DEL SUMINISTRO ELECTRICO Y ADAPTACION DE LOS SISTEMAS ELECTRICOS A EVENTOS EXTREMOS". Área de Pensamiento Estratégico, Cámara Argentina de la Construcción, Octubre de 2012.

FERNANDEZ, M. A.; FERNANDEZ, Y. y OLMEDILLAS, B. (2011a): "EL FRACASO DE COPENHAGUE DESDE LA TEORIA DE JUEGOS". Documento de Trabajo de Editorial Funcas N° 585.

FERNANDEZ, M. A.; FERNANDEZ, Y. y OLMEDILLAS, B. (2011b): "LAS DIFICULTADES DE LOS ACUERDOS MEDIOAMBIENTALES DESDE LA TEORIA DE JUEGOS". Revista de Responsabilidad Social de la Empresa N° 8 (vol. 3 N°2), pp. N° 37 a N° 60, Mayo - Agosto de 2011.

GOMEZ G.; MATHE L.; SELLA PIEDRABUENA L. (2013): Capítulo: "EFICIENCIA ENERGETICA". Matriz de recursos energéticos de la Provincia de Córdoba, CIECS (CONICET y UNC), Editorial Copiar, Editor: Devalis Sergio A., pp. N° 95 a N° 129.

KRAUSE, M. (1999): "LA TEORIA DE JUEGOS Y EL ORIGEN DE LAS INSTITUCIONES". Revista Libertas 31, Instituto Universitario ESEADE, Octubre de 1999.

LUTZ, W. (2003): "PROGRAMA DE AHORRO Y EFICIENCIA ENERGETICA EN EL MERCADO ELECTRICO ARGENTINO (PAYEE). IDENTIFICACION DE LAS CARACTERISTICAS, LINEAMIENTOS GENERALES Y OPCIONES PARA UNA PROPUESTA DEL PAYEE". Secretaría de Energía de la Nación, República Argentina, julio de 2003.

LUTZ, W. y COL. (2001): "EL PAPEL DE LA LEGISLACION Y LA REGULACION EN LAS POLITICAS DE USO EFICIENTE DE LA ENERGIA EN LA UNION EUROPEA Y SUS ESTADOS MIEMBROS". Serie Manuales de la CEPAL N° 14, "Proyecto CEPAL/COMISIÓN EUROPEA "Promoción del Uso Eficiente de la Energía en América Latina". Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), Santiago de Chile, abril de 2001.

LUTZ, W. (2001): "REFORMAS DEL SECTOR ENERGETICO, DESAFIOS REGULATORIOS Y DESARROLLO SUSTENTABLE EN EUROPA Y AMERICA LATINA". Serie Recursos Naturales e Infraestructura de la CEPAL N° 26, Proyecto CEPAL/COMISIÓN EUROPEA "Promoción del Uso Eficiente de la Energía en América Latina". Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), Santiago de Chile, junio de 2001.

ORGANIZACIÓN LATINOAMERICANA DE ENERGIA (OLADE) (2013): "LA SOSTENIBILIDAD DE LA EFICIENCIA ENERGETICA: PROGRAMA PARA AMERICA LATINA Y EL CARIBE DE EFICIENCIA ENERGETICA - PALCEE". Quito, Ecuador, Julio de 2013.

PEREYRA, L. y VALQUEZ, C. (2003): "LAS CONEXIONES ELECTRICAS CLANDESTINAS. UNA APLICACIÓN DE LA TEORIA DE JUEGOS". Instituto de Economía y Finanzas de la Facultad de Ciencias Económicas de la Universidad Nacional de Córdoba, Noviembre de 2003.

POVEDA, M. (2007): "EFICIENCIA ENERGETICA: RECURSO NO APROVECHADO". Organización Latinoamericana de Energía (OLADE), Quito, Ecuador.

SHUBIK, M. (1996): "TEORIA DE JUEGOS EN LAS CIENCIAS SOCIALES. CONCEPTOS Y SOLUCIONES". Editorial Fondo de Cultura Económica. México, D. F.

STIGLITZ, J. (2000): "LA ECONOMIA DEL SECTOR PUBLICO". Traducción de M.^a Esther Rabasco y Luis Toharia, Universidad de Alcalá. Tercera edición, editor: Antony Bosch.

STREB, J. M. (2015): "NASH, EL ULTIMO FUNDADOR DE LA TEORIA DE JUEGOS, Y LA EVOLUCION DEL CONCEPTO DE EQUILIBRIO DESDE COURNOT". Serie Documentos de Trabajo N° 572, Área Economía. Universidad del CEMA, Buenos Aires, Argentina, Octubre de 2015.