Universidad de Valladolid

Trabajo de Fin de Grado

Facultad de **Ciencias Económicas y Empresariales**

Grado en **Administración y Dirección de Empresas**

La Teoría de Juegos y su aplicación en la Economía

Presentado por:

Irene Fernández Fernández

Valladolid, Junio de 2018

Resumen:

En este Trabajo Fin de Grado se describen los conceptos fundamentales de la Teoría de Juegos y su relación con otras ciencias; en especial con la Economía. En primer lugar, se hace una breve referencia a su historia (tanto los autores como obras más relevantes); a continuación se tratará la formalización de los juegos, desde una descripción de los elementos de los juegos, a los tipos o formas de representarlos; así como la relación entre las Matemáticas y la Teoría de Juegos. Luego se tratará más a fondo la relación de la Economía con la Teoría de Juegos: se muestran las aplicaciones más características junto con ejemplos de las mismas y se llega a la conclusión de que tiene muchas aplicaciones en la Economía en la actualidad y con aspiraciones de futuro.

Abstract:

In this Final Degree Project, the fundamental concepts of Theory of Games and its relationship with other sciences are described; especially with the Economy. First of all, a brief reference is made to its history (both the authors and the most relevant works); then the formalization of the games will be treated, from a description of the elements of the games, to the types or ways of representing them; as well as the relationship between Mathematics and Theory of Games. Then, the relationship of the Economy with the Theory of Games will be discussed more in depth: the most characteristic applications are shown along with examples of them and it is concluded that it has many applications in the Economy today and with aspirations of future.

Palabras clave:

Teoría de Juegos,

Dilema del prisionero,

Aplicaciones,

Subastas.

Keywords:

Theory of Games,

Prisoner´s Dilemma,

Applications,

Auctions.

Códigos de la Clasificación JEL (Journal of Economic Literature):

C7: Teoría de Juegos.

C70: Generalidades,

C71: Juegos cooperativos,

C72: Juegos no cooperativos,

C73: Juegos estáticos y dinámicos, Juegos evolutivos, Juegos repetidos.

C79: Otros.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN

Se podría decir que casi todo en el mundo es un juego; se esté donde se esté o se haga lo que se haga, lo más normal es que nuestro bienestar dependa de elementos ajenos a nuestro control. Aunque se desconozca, se vive “atrapado” en un juego, entendiendo juego como una situación con interdependencia en donde las decisiones de los individuos son reacciones estratégicas a las decisiones de los demás. En el momento en que se da un conflicto social, ya se puede hablar de “juego”. (Aguiar, 2008, p. 1).

El objetivo de este Trabajo Fin de Grado (TFG, en adelante) es describir los conceptos fundamentales de la Teoría de Juegos y su relación con otras ciencias; en concreto con la Economía.

La forma de abordarlo es la siguiente: en primer lugar, se hace una breve referencia a su historia (tanto los autores como obras más relevantes); a continuación se tratará la formalización de los juegos, desde una descripción de los elementos de los juegos, a los tipos o formas de representarlos; así como la relación entre las Matemáticas y la Teoría de Juegos. Luego se tratará más a fondo la relación de la Economía con la Teoría de Juegos: se muestran las aplicaciones más características junto con ejemplos de las mismas. Y por último, las conclusiones de este TFG.

2. BREVE HISTORIA DE LA TEORÍA DE JUEGOS

Ya en el siglo XVII científicos como Huygens (1629-1695) y Leibniz (1646-1716) propusieron la creación de una disciplina que utilizara el método científico para estudiar los conflictos y las interacciones humanas, aunque no llegaron a alcanzar resultados relevantes. Esta disciplina nació en el siglo XVIII, pero no es hasta el siglo XX cuando se desarrolló. Como teoría matemática fundamentada es obra de la primera mitad del siglo XX. (Jimeno et al., 2004, pp.1-3).

¿Quiénes son los padres de la Teoría de Juegos? Sus orígenes se remontan a los trabajos de Cournot en 1838 y Edgeworth en 1881, pero el gran desarrollo en el siglo XX tuvo lugar en la década de los años veinte. Los autores cuyas obras fueron más relevantes fueron Zermelo (1913), Borel (1921), John Von Neumann (1928) y John Forbes Nash (1950), entre otros.

Es de destacar la figura del gran matemático Émile Borel. Hacia 1920, se interesó por una teoría que estaba emergiendo e introdujo la idea de estrategia mixta y muy pronto John Von Neumann en 1928 empezó a profundizar en ella, formulando y demostrando el teorema del minimax. Este teorema dice lo siguiente: *en un juego finito para dos jugadores A y B, existe un valor medio que representa la cantidad que el jugador A puede ganar a B si los dos jugadores juegan de manera razonable, tratando de obtener los mayores beneficios o menores pérdidas*.

Más adelante, fue un elemento clave para el desarrollo de la disciplina. La gran contribución del trabajo de Von Neumann en 1928 es que proporcionaba respuestas a las cuestiones que había planteado Borel, respuestas que iban más allá de las preguntas. Las respuestas las obtuvo demostrando la solución del teorema del minimax, que resultó ser tan profundo que abrió nuevas áreas y puso de manifiesto nuevas conexiones dentro de las Matemáticas.

Otro autor relevante fue Albert W. Tucker, que en 1950 realizó importantes contribuciones poniendo nombre y dando la primera interpretación al conocido dilema del prisionero. Como curiosidad, fue profesor de J. Nash, del que más adelante comentaremos su aportación a esta disciplina.

Durante el periodo que transcurre desde 1928 a 1944, la comunidad científica no publicó casi nada sobre estas cuestiones, pero en 1944 salió a la luz la obra básica de John Von Neumann y Oskar Morgenstern: “Theory of Games and Economic Behaviour” (“Teoría de Juegos y Comportamiento Económico”). Se considera el libro base de la Teoría de Juegos, ya que con esta publicación se inicia como disciplina científica. De hecho, a esta obra se le considera como la más importante contribución a esta rama de las Matemáticas aplicadas a la Economía y marca la consolidación de la Teoría de Juegos. Ya desde el año

1959 se aplicaría a un gran número de situaciones para el análisis de la realidad. (Doblado, 2003, p. 17).

En el momento de la publicación de este clásico, ambos autores trabajaban en la Universidad de Princeton y más tarde colaboraron con la organización conocida mundialmente por Rand Corporation (uno de los primeros *think tanks,* que se desarrolló a partir de tareas de investigación operativa llevadas a cabo durante la Segunda Guerra Mundial). Al publicarse la obra de Von Neumann y Morgenstern se pensó que las Ciencias Sociales conocerían una rápida revolución, pero no ocurrió así.

Algunos aspectos relevantes de la biografía de John Von Neumann son los siguientes (National Geographic, Deoulofeu, 2016, p. 96): fue un científico húngaro de gran versatilidad, uno de los más ilustres matemáticos de siglo XX. Estudió Física e Ingeniería Química. Sus intereses fueron decantándose de la matemática pura a la aplicada en campos tan variados como la Física Atómica, el diseño de computadoras electrónicas, la Psicología Cognitiva, o la Economía.

En los años 50 del siglo XX se produjo un notable desarrollo de la Teoría de Juegos. Aparecieron las primeras aportaciones sobre el dilema del prisionero, y por otra parte John Forbes Nash estableció el concepto de estrategia óptima para juegos con múltiples jugadores cuando el óptimo no se puede establecer previamente (equilibrio de Nash). Este concepto es válido para juegos no cooperativos pero es extensible a los cooperativos. Posiblemente, después de los trabajos de J. Von Neumann, las contribuciones de J. F. Nash sean las más relevantes. A comienzos de los años 1950, este desarrolló un concepto clave: el equilibrio de Nash. Este autor, contaba con grandes capacidades intelectuales pero dificultades en su relación con los demás (sufrió de esquizofrenia). Inició sus estudios de Ingeniería Química, pero terminó decantándose por las Matemáticas. En 1948, recibió una beca en la Universidad de Princeton (coincidiendo con Albert Einstein y Von Neumann) para realizar el doctorado en Teoría de Juegos bajo la dirección de Albert W. Tucker. En 1950, presentó su tesis doctoral, que consistía en un trabajo sobre juegos no cooperativos que tendría un gran reconocimiento por parte de los expertos en Teoría de Juegos. Creó un juego de conexión que actualmente se comercializa con el nombre de Hex, demostrando que debía existir una estrategia ganadora para el primer jugador, aunque esta sea desconocida. En 1994, Nash recibió el Premio Nobel de Economía por sus contribuciones en la Teoría de Juegos con una tesis basada en la consecución por parte de dos o más contrincantes de idénticos resultados sin necesidad de cooperar entre sí. En el año 2001, su historia fue llevada al cine, con la película “A beautiful mind” (“Una mente maravillosa”). (National Geographic, Deulofeu, 2016, p. 122).

En definitiva, se podría decir que John Von Neumann fue la figura que sentó las bases de la Teoría de Juegos (de vital importancia en el inicio de esta disciplina), y que John F. Nash la desarrolló hasta el punto de que sus trabajos han tenido una aplicación práctica en otras ciencias (Economía, Política, Psicología, entre otras).

En años recientes, la Teoría de Juegos ha recibido un gran respaldo académico al recibir el Premio Nobel de Economía algunos de sus pioneros y practicantes[1]:

1994: John C. **Harsanyi**, John F. **Nash** y Reinhard **Selten** “por su análisis del equilibrio en la Teoría de Juegos no cooperativos”.

1996: James A. **Mirrlees** y William **Vickrey** “por sus contribuciones a la Teoría económica de los incentivos bajo información asimétrica”.

2005: Robert J. **Aumann** y Thomas C. **Schelling** “por su comprensión de los conflictos y la cooperación por medio del análisis de la Teoría de Juegos”.

2007: Leonid **Hurwicz**, Eric S. **Maskin** y Roger B. **Myerson** “por sentar las bases de la Teoría del diseño de los mecanismos”.

2012: Alvin E. **Roth** y Lloyd S. **Shapley** “por la Teoría de la distribución

[1] Extraído de la página web premios Nobel: https://www.nobelprize.org/nobel_prizes/economic-sciences/laureates/.

estable y la práctica del diseño de mercado”.

3. FORMALIZACIÓN DE LOS JUEGOS

En este apartado, se describen en primer lugar los distintos elementos que constituyen un juego y se continuará haciendo una clasificación de los mismos. En tercer lugar, se estudia la relación entre la Teoría de Juegos y las Matemáticas. Por último, serán expuestas las tres formas de representación de juegos: extensiva, estratégica y coalicional.

Para comprender mejor los conceptos que se exponen, nos apoyaremos en el juego del *dilema del prisionero*. El enunciado de este juego, siguiendo a Jimeno *et al*. (2004) es el siguiente:

Dos delincuentes habituales son apresados cuando acaban de cometer un delito grave. No hay prueba clara contra ellos, pero sí indicios fuertes de dicho delito y además hay pruebas de un delito menor. Son interrogados simultáneamente en habitaciones separadas. Ambos saben que si los dos callan serán absueltos del delito principal por falta de pruebas, pero condenados por el delito menor (1 año de cárcel), que si ambos confiesan, serán condenados por el principal pero se les rebajará un poco la pena por confesar (4 años), y finalmente, que si sólo uno confiesa, él se librará de penas y al otro “se le caerá el pelo” (5 años).

3.1. Elementos de los juegos

Siguiendo la terminología básica de Jimeno et al. (2004), los principales elementos de los juegos son los siguientes:

Jugadores: son los participantes en el juego, los que toman las decisiones con el fin de maximizar su utilidad.

Acciones: son los posibles movimientos de cada jugador en el momento en que le toca jugar.

Información: es el conocimiento que tienen los jugadores de las variables del juego.

Estrategias: es un plan completo de acciones y determina una acción en cada uno de los momentos del juego en el que le toca jugar. Un conjunto de estrategias para cada jugador, constituye un "perfil de estrategias".

Resultados: son las diversas formas en que puede concluir el juego. Cada resultado tiene unas consecuencias para cada jugador.

Pagos: representan la utilidad que cada jugador atribuye a cada resultado posible del juego.

En el juego del prisionero sus elementos son los siguientes:

- Jugadores: prisionero 1 y prisionero 2.
- Acciones: las posibles acciones son confesar o no confesar (callar).
- Estrategias: por ejemplo un perfil de estrategia podría ser que el prisionero 1 confesara y el prisionero 2 no.
- Resultados: ser absueltos del delito o ser condenados, los dos; o ser uno condenado y el otro absuelto; o viceversa.
- Pagos: los años de cárcel.

3.2. Tipos de juegos

Los juegos se clasifican en diferentes categorías atendiendo a distintos aspectos. Una clasificación de los juegos es la siguiente:

Atendiendo a la relación entre los jugadores, los juegos se clasifican en:

- *Cooperativos:* los jugadores pueden colaborar entre ellos. Se analizan los resultados que pueden alcanzar las coaliciones.
  Ejemplo: los partidos políticos, aun cuando sus intereses sean opuestos, en determinadas ocasiones pueden elegir aliarse para conseguir un beneficio mejor.

- *No cooperativos:* los jugadores son incapaces de llegar a acuerdos contractuales entre sí. Cada jugador decide sin llegar a un acuerdo con los demás.

  Ejemplo: en el dilema del prisionero, tal como lo hemos descrito, los jugadores no pueden colaborar.

Atendiendo a la forma en que se realizan las jugadas, los juegos se clasifican en:

- *Estáticos:* los jugadores toman sus decisiones a la vez, simultáneamente en conocer las estrategias elegidas por los demás.
- *Dinámicos:* los jugadores juegan unos a continuación de otros. No simultáneamente.

Por la información que los jugadores poseen respecto a las consecuencias del juego, los juegos se clasifican en:

- *Información completa:* si todos los jugadores conocen toda la información relativa a los pagos y estrategias de todos los jugadores. Los factores del juego son de conocimiento público.
- *Información incompleta:* algún jugador puede tener información que los otros desconocen.

Por la información que los jugadores poseen acerca del comportamiento de los jugadores, los juegos se clasifican en:

- *Información perfecta:* si en cada momento se conoce perfectamente el desarrollo del juego.
- *Información imperfecta:* se desconoce el desarrollo del juego.

Ilustraremos los diferentes tipos de juegos con el dilema del prisionero, mediante las siguientes posibles situaciones:

Si decidieran los dos presos a la vez, sería de tipo estático. Si tuvieran que decidir primero uno y luego el otro, dinámico. Si una vez que decide uno, le comunican al otro preso la decisión tomada, sería un juego de información perfecta y completa. Si un preso no sabe lo que hizo el otro, es un juego de información imperfecta.

Por último, aclarar que información completa no es lo mismo que información perfecta. Por una parte, la información completa se refiere al conocimiento acerca de la estructura del juego sin ser necesario el conocimiento de las acciones de unos jugadores por otros en el desarrollo del juego (en el dilema del prisionero, podemos tener información completa pero es juego de información imperfecta ya que uno de los prisioneros desconoce la acción que lleva a cabo el otro). Por otra parte, cuando es un juego de información imperfecta en algún momento se desconoce el desarrollo de un juego (es más difícil de encontrar un ejemplo, podría ser cuando se juega al ajedrez con un oponente al que han pagado para que ocurra algo en concreto pero que el otro contrincante desconoce, ya que una parte tiene información perfecta porque conoce cada movimiento que realiza el contrincante, pero al desconocerse lo que han pagado al oponente este juego es de tipo de información incompleta).

3.3. Teoría de Juegos y Matemáticas[2]

Las Matemáticas se desarrollan, en numerosas ocasiones, para tratar de resolver problemas o responder a preguntas sobre nuestro mundo, en el sentido más amplio del término. Debido a que son una actividad humana, están condicionadas por la cultura en la que se desarrollan y es en esa cultura donde se plantean cuáles son las cuestiones relevantes que en cada momento sus miembros están interesados en responder.

¿Son las Matemáticas una disciplina seria o lúdica? ¿Pura o aplicada? En realidad, es ambas cosas en ambos casos. Teniendo en cuenta la historia de la ciencia matemática: mientras que la Matemática de los antiguos egipcios y babilonios era esencialmente aplicada y práctica, la Matemática de los griegos era mayormente una ciencia pura referida a entes abstractos que encuentran

[2] Elaborado con la revista National Geographic, Delofeu, 2016, pp. 17-20.

aplicaciones insospechadas en múltiples situaciones en el ámbito cotidiano o en el de otras ciencias.

Por otra parte, una disciplina rigurosa y abstracta puede ser al mismo tiempo algo recreativo: los juegos guardan un aspecto lúdico que se ha manifestado en prácticamente todos los momentos de la historia y ha estado presente en el inicio de la creación de nuevas teorías como la probabilidad, los grafos y la Teoría de Juegos.

Como rama de las Matemáticas, la Teoría de Juegos estudia aspectos del comportamiento humano con el objetivo de optimizar la toma de decisiones en campos tan diversos como la Economía, la Política, las organizaciones militares o la evolución biológica. La Teoría de Juegos es una de las ramas de las Matemáticas más directamente aplicadas. En gran parte, esta rama de las Matemáticas se basa en la formulación y análisis de ciertas situaciones (dilema del prisionero, por ejemplo) que plantean situaciones límite, habituales en muchos acontecimientos de nuestro día a día, en los que la tensión entre confrontación y cooperación hace difícil la toma de las mejores decisiones.

En "The Role of Mathematics in Science and Society", obra de John von Neumann (uno de los padres de la Teoría de Juegos), este deja claro que las Matemáticas han sido útiles para resolver problemas o responder preguntas de los más diversos ámbitos del conocimiento. Porque, de una u otra manera, las Matemáticas están presentes en la vida. Así el matemático Von Neumann destacó que las Matemáticas han alcanzado el éxito cuando los investigadores han dejado de investigar aquello que podía ser útil y se han dejado guiar por criterios de elegancia intelectual (y en ese "laissez faire" se han conseguido resultados extraordinarios en el campo de las Matemáticas).

Un juego y un problema matemático tienen en común que plantean un desafío intelectual, un reto cuya aceptación lleva a quien lo descifra, o al jugador, a realizar un esfuerzo para tratar de resolverlo, o de ganar a su adversario. Este esfuerzo, que no es más que "pensar", para aquellos a los que les gustan las Matemáticas o los retos intelectuales supone una fuente de satisfacción.

Para finalizar, citando a Miguel de Guzmán: “Las Matemáticas siempre son un juego, aunque además sean otras muchas cosas”.

3.4. Formas de representación de un juego

3.4.1. Juegos en forma estratégica o normal

La representación de un juego en forma estratégica o normal es la manera habitual de representar un juego estático con información completa. Se debe suponer que cada jugador solo posee un conjunto de información, por lo que cada jugador decide su estrategia al comienzo del juego.

Definición (Jimeno, 2004, pp. 36-39)

Un juego n-personal en forma estratégica o normal está formado por un conjunto $J = \{1, 2, \dots, n\}$ de n jugadores, un conjunto de estrategias $C_i, i \in J$ para cada jugador y una función de pagos o utilidades $u_{i,}\ i \in J$ para cada jugador que representa sus preferencias sobre las posibles combinaciones de estrategias

$$\Gamma = \{ (J,\ \{C_i\}_{i\in J}\ ,\{u_i\}_{i\in J})\}$$

En juegos con dos jugadores con un número finito de estrategias puras para cada jugador, la representación estratégica del juego es mediante su matriz de pagos.

Ejemplo: La representación en forma estratégica o normal del juego del dilema del prisionero enunciado al comienzo de este capítulo se puede representar por la siguiente tabla:

	No confiesa (J2)	Confiesa (J2)
No confiesa (J1)	(-1, -1)	(-5, 0)
Confiesa (J1)	(0, -5)	(-4,-4)

Los pagos o utilidades para cada jugador en este juego son los años de cárcel consecuencia de su decisión y de la de su compañero de confesar o no.

3.4.2. Juegos en forma extensiva

Definición Un *árbol de decisión* o *árbol de un juego* es una colección finita de nodos o vértices conectados por líneas, llamadas arcos, formando una figura conectada que no contiene curvas cerradas.

Definición Dado un árbol de decisión *X* con un nodo distinguido que se llama *nodo raíz* 0, se dice que *el vértice C sigue a B* si la secuencia de arcos que une 0 con *C* pasa por *B*. Un nodo o vértice se llama *terminal* si no le sigue ningún otro vértice.

Definición (Jimeno, 2004, p. 31) Un juego en forma extensiva se representa mediante un "árbol del juego" y viene especificado por los siguientes elementos:

$$\Gamma = \{J, (X, \sigma), (A, \alpha), \{x_i\}_{i \in J}, \{Hi\}_{i \in J}, (A(h))_{h \in H}, \rho, r\}$$

donde:

- El conjunto $J = \{0,1,2,\dots,n\}$ es el conjunto de n jugadores y 0 representa al azar. Si no hay movimientos de azar, entonces $J = \{1,2,\dots,n\}$
- X es el conjunto de nodos, que representan una posible situación del juego y σ es la función de X en X con $\sigma(0) = 0$ y que asigna a $x \neq 0$ el nodo $\sigma(x)$ que precede a x.
- A es el conjunto de todas las posibles acciones y para cada nodo x distinto del origen, $\alpha(x)$ es aquella acción que lleva desde el nodo inmediato predecesor $\sigma(x)$ al nodo x.
- Para cada jugador $i \in J$, x_i es el conjunto de nodos de decisión en los que el jugador i tiene que elegir una acción. En un nodo particular de decisión sólo mueve uno de los jugadores, por tanto,

  $\forall\, i, j \in J,\ con\ i \neq j$, se verifica que $x_i \cap x_j = \emptyset$

Se ve, por tanto, que la familia $\{x_i\}_{i \in J}$ constituye una partición, por jugadores, del conjunto de nodos de decisión.

- $\{Hi\}_{i \in J}$ es una familia de conjuntos de información.

  $h(x)$ es una función que asigna a cada nodo x el conjunto de información al que pertenece. Los conjuntos de información forman una partición de $D(X)$.

$$h: X \rightarrow H$$
$$x \rightarrow h(x)$$

  Todos los nodos de decisión que pertenecen a un mismo conjunto de información tienen las mismas acciones disponibles, es decir:

$$A(x) = A(x'), \qquad si \quad h(x) = h(x')$$

  Sea $h = h(x)$, un conjunto de información perteneciente a H, podemos representar por $A(h)$ el conjunto de acciones disponibles en el conjunto de información h.

$$A(h) = \{a \in A: a \in A(x) \ \ para \ \ x \in h\}$$

  Sea Hi el conjunto de todos los conjuntos de información del jugador i. Sea H el conjunto que contiene a todos los conjuntos de información contenidos en los Hi, para $i \in J$. Es decir: $H = \bigcup_{i \in J} H_i$

- ρ es una función $\quad \rho: Ho \ x \ A \rightarrow [0, 1]$

$$(h, a) \rightarrow \rho(h, a)$$

  que asigna probabilidades a acciones en conjuntos de información donde el movimiento corresponde a la naturaleza o al azar.

  Se tiene que verificar que:

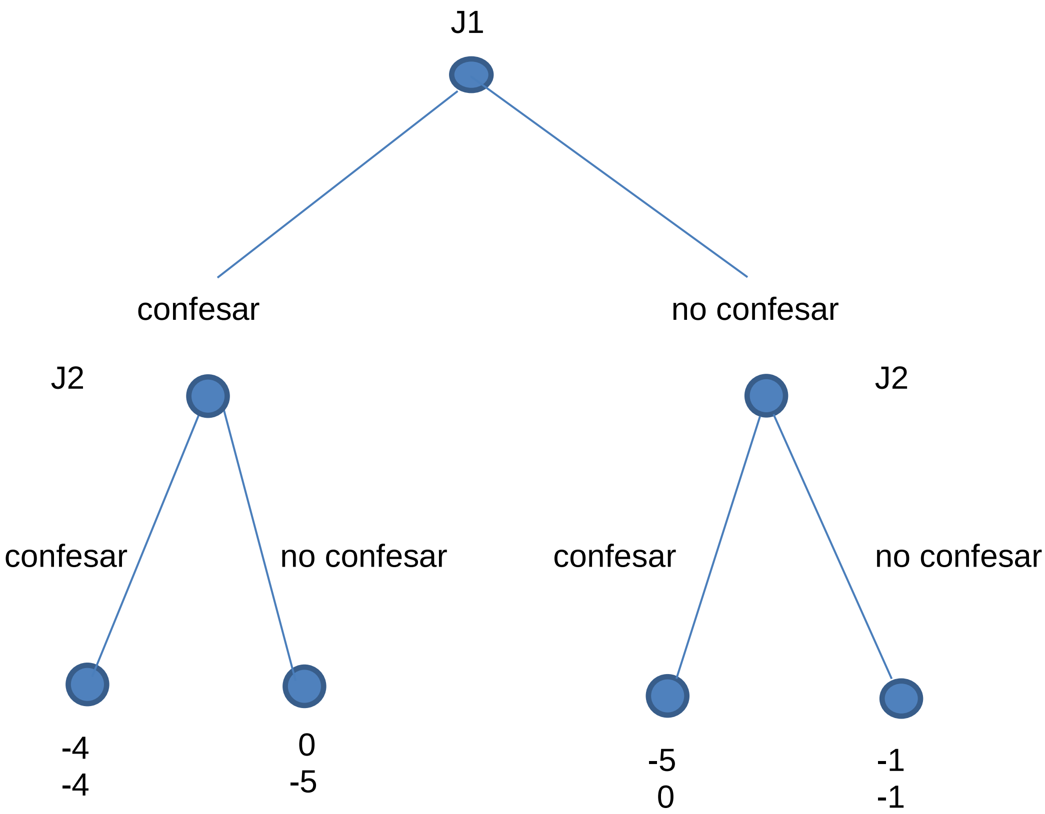
  $\rho(h, a) = 0$, si $\quad a \notin A(h) \quad$ y $\sum_{a \in A(h)} \rho(h, a) = 1, \forall \ h \in Ho$

- r es una función de pagos

$$r: T(X) \rightarrow R^n$$
$$x \quad \rightarrow r(x) = (r_1(x), \ldots, r_n(x))$$

  en donde $ri(x)$ indica el pago o utilidad que recibe el jugador i si se ha alcanzado el nodo terminal x.

A continuación, se representa el juego del dilema del prisionero en forma extensiva.



3.4.3. Juegos cooperativos en forma coalicional

Definición (Jimeno, 2004, p.48)

Un juego en forma coalicional o en forma de función característica con utilidades transferibles consiste en:

- Un conjunto finito de jugadores $J = \{1, 2, \dots, n\}$
- Una función característica que asocia a cada subconjunto S de J un número real $v(S)$, siendo $v(\emptyset) = 0$.

Cada subconjunto $S \neq \emptyset$ de J se denomina una coalición y el valor $v(S)$, valor de la coalición. Por tanto, la representación de un juego en forma coalicional o en forma de función característica con utilidades transferibles en un par $G = (J, v)$.

Si bien el juego del dilema del prisionero es el ejemplo de juego no cooperativo por excelencia, supongamos que los presos pudiesen burlar la vigilancia y comunicarse entre sí. En ese caso tendría sentido la representación del juego en forma coalicional y sería un par (J, v) con $J = \{1, 2\}$ y $v: P(J) \rightarrow R$ la función que asigna a cada coalición, el número de años de cárcel a los que serían condenados los jugadores que forman dicha coalición, en el peor de los casos e independientemente de lo que haga el resto, por tanto

$$v(\emptyset) = 0 \ , \ v(\{1\}) = -5 \ , v(\{2\}) = -5 \ , v(\{1,2\}) = -1$$

4. TEORÍA DE JUEGOS Y ECONOMÍA

En este apartado, se realiza un estudio de los casos en los que la Teoría de Juegos tiene aplicación en la Economía, tanto a través de casos teóricos como de diversos casos prácticos ilustrativos (con ejemplos de juegos).

4.1. Aplicaciones clásicas de la Teoría de Juegos en la Economía

Dentro del ámbito de la Teoría de los Juegos, serán consideradas aquellas estructuras en las cuales se cuenta con una relación de interdependencia estratégica entre las diferentes empresas participantes.

A continuación, se incidirá en los modelos de comportamiento de las empresas en el mercado. Los tres primeros modelos tienen en cuenta que las empresas saben que sus acciones afectarán las decisiones de sus competidores, y el último de ellos consiste en generalizaciones a partir de competencia perfecta y monopolio.

4.1.1. Modelo de Cournot

En palabras de Jimeno et al. (2004), Cournot fue uno de los precursores de la Teoría de Juegos. En 1838, propuso el denominado modelo clásico de Cournot, en el que un pequeño número de empresas compiten en el mercado de un producto homogéneo, decidiendo simultáneamente qué cantidades de producción van a aportar al mercado, y el precio de mercado queda determinado por la cantidad total aportada de acuerdo con la función de demanda inversa.

El oligopolio de Cournot es una de las aplicaciones más fructíferas de la Teoría de Juegos, es la relativa al estudio de la organización industrial en entornos con un número de agentes no muy grande, en particular el estudio de modelos de mercado con un número reducido de empresas y que son interdependientes. Los modelos de duopolio constituyen una aplicación pionera de este tipo.

Cuando se llega a un equilibrio resultante de este modelo, se le llama “equilibrio de Cournot”. Se trata del equilibrio de Nash del juego definido por el modelo de Cournot, y se llama a veces equilibrio de Cournot-Nash para indicar que se trata del equilibrio de Nash del juego definido por el modelo de Cournot.

En este modelo, se supone un mercado en el que hay solo dos empresas (E_1 y E_2) fabrican un producto homogéneo y compiten en cantidades. Ambas cantidades son producidas de forma simultánea.

Siendo: q_1 la cantidad que produce E_1 y q_2 la cantidad que produce E_2. La cantidad total es: $QT = q_1 + q_2$

El beneficio de cada empresa es:

Beneficio para la E_1 : $B_1 = p\ (q_1 + q_2)q_1 - C_1(q_1)$

Beneficio para la E_2 : $B_2 = p\ (q_1 + q_2)q_2 - C_2(q_2)$

En el equilibrio de Cournot, “cada empresa realiza previsiones sobre cuánto producirá su competidora y maximiza consecuentemente sus beneficios”. Es un ejemplo de equilibrio de Nash en las cantidades producidas por lo que ninguna de las empresas tiene incentivos para cambiar su nivel de producción. (Rubinfeld, 2009, p.518).

Con este ejercicio de maximización se obtienen las denominadas funciones de reacción de las empresas que representan la decisión óptima de cada una en función de sus previsiones sobre la empresa rival.

Se llega al equilibrio en la intersección de las curvas, es decir, cuando las previsiones sobre la empresa rival coinciden con la producción llevada a cabo.

$q_1* = q_1(q_2 *) \quad = \quad q_2* = q_2(q_1 *)$

4.1.2. Modelo de Bertrand

Según la definición de Jimeno et al. (2004), el modelo de Bertrand es un oligopolio que apareció cuarenta años después de la publicación del modelo clásico de Cournot en el que las empresas compiten en precios y se comprometen a servir, al precio que ellas proponen, toda la cantidad que los consumidores demanden a dicho precio. Análogamente al caso del modelo de Cournot, el equilibrio de Bertrand es el equilibrio de Nash del juego definido por el modelo de Bertrand.

Para el caso en el que haya solo dos empresas en el mercado (duopolio) se centra en un modelo continuo en productos homogéneos y compiten en precios. Sea $q(p)$ la función de demanda de dicho producto, y supongamos que:

- Los consumidores solo compran a la empresa que establece un precio más bajo, o a ambas, en cantidades iguales, si los precios son iguales.
- La función $q(p)$ es estrictamente decreciente para precios entre 0 y p_c, y nula para precios iguales o superiores a p_c.
- Ambas empresas tienen la misma función de costes, sin costes fijos y con costes marginales constantes e iguales a c.

Se cumple $0 < c < p_M < p_c$, donde p_M es el precio óptimo de monopolio, es decir, el precio que maximizaría el beneficio de una cualquiera de las empresas si la otra se retirase del mercado.

El equilibrio será un par de precio tal que cada uno sea una elección maximizadora del beneficio dada la elección de la otra empresa. Es decir, si la empresa 1 fijase un precio P_1, la empresa podría optar por varias opciones al fijar su precio P_2 :

1) La empresa 2 fija un precio superior al de la empresa 1: $P_2 > P_1$. En este caso $q_2 = 0$ porque la empresa 1acapararía todo el mercado.
2) Ambas fijan el mismo precio: $P_2 = P_1$. Las empresas se reparten el mercado a ese precio.
3) La empresa 2 vende más barato que la empresa 1: $P_2 < P_1$. En este caso $q_1 = 0$.

Dado el precio de su rival, la opción más rentable para la empresa 2 es la tercera porque conseguirá que su competidor – la empresa 1 – no venda nada consiguiendo una penetración – la empresa 2 – del 100% en el mercado. A medida que se va repitiendo este razonamiento en el tiempo, lleva a $P_1 = P_2 =$ Cmg. No obstante, cabe resaltar que en el caso de que el precio sea superior al coste marginal, no puede haber equilibrio porque a cualquier empresa le compensaría reducir ligeramente el precio.

A modo de ejemplo (Doblado, 2003, pp. 63 y 64), se considera la siguiente situación: dos empresas, A y B. Estas empresas en un mercado duopolístico pueden establecer tres precios que se asignarán como altos (a), medios (m) y bajo (b). La empresa que asigna el precio más bajo consigue toda la cuota del mercado. Si las dos empresas establecen el mismo precio se reparten la cuota del mercado en partes iguales. Estas suposiciones y los diferentes pares de precios dan lugar a los niveles de beneficios de las dos empresas. Por ejemplo, la empresa A solo obtiene un beneficio si su precio no es más alto que el de la empresa B.

Supóngase que los beneficios vienen dados por la siguiente bimatriz de pagos.

A/B	a	m	b
a	12, 12	0, 20	0, 16
m	20, 0	10, 10	0, 16
b	16, 0	16, 0	8, 8

Aplicando el concepto de solución por dominancia a este juego, hay que observar que la estrategia a como irracional para las dos empresas ya que conduce a la ausencia de ventas o a una participación del 50 por 100 de un mercado reducido.

Habiendo eliminado la estrategia a para ambas empresas, se obtiene la siguiente bimatriz de pagos.

A/B	m	b
m	10, 10	0, 16
b	16, 0	8, 8

Al enfrentar la estrategia m frente a b ((0,16)), se observa que es dominante b. Si se invierten las variables, b frente a m ((16,0)), b es dominante. Es decir, la estrategia b es dominante y la m dominada. Por tanto, el resultado de la eliminación iterada de estrategias dominadas es (b, b). La estrategia m es útil si se creyese que la empresa oponente iba a asignar precios altos. En consecuencia, si la empresa A está convencida de que la empresa B no va a establecer precios altos, la empresa A no tiene ninguna justificación para establecer precios medios.

4.1.3. Modelo de Stackelberg

Es un ejemplo de juego en dos etapas en el que los conjuntos de acciones son continuos. Este modelo fue propuesto por Stackelberg en 1934. Los jugadores son dos empresas que constituyen un duopolio con un producto homogéneo compitiendo en cantidades. Se supone que estas empresas no van a tomar sus decisiones de producción simultáneamente (a diferencia del modelo de Cournot) sino secuencialmente. La empresa 2 tendrá que actuar sabiendo la acción que ha realizado la empresa 1. Por tanto, una empresa actúa como líder y la otra como seguidora. Será la empresa líder la que fija el nivel de producción en primer lugar, y la empresa seguidora decide su propia cantidad a producir tras haber observado la decisión de la empresa líder. (Jimeno, 2004, p.259).

Mientras que el "equilibrio de Cournot" y el "equilibrio de Bertrand" se refieren al equilibrio de Nash de los juegos de Cournot y Bertrand respectivamente, la mención del "equilibrio de Stackelberg" significa a menudo que el juego es de decisiones sucesivas en vez de simultáneas. Sin embargo, los juegos con decisiones sucesivas poseen múltiples equilibrios de Nash, de los cuales uno está asociado con el resultado obtenido por inducción hacia atrás del juego. Por tanto, el "equilibrio de Stackelberg" puede referirse tanto a la naturaleza secuencial del juego como al uso de un criterio de solución más poderoso que el mero equilibrio de Nash. (Gibbons, 1993, p. 60)

Empresa líder: es la empresa 1 (E_1), la primera en elegir su nivel de producción, es decir, escoge una cantidad q_1 ≥ 0. Esta empresa actúa partiendo de la base que la E_2– seguidora – considerará como fijo el nivel de producción, por lo que la seguidora se comporta como en Cournot. Para la líder, q_2 es desconocida, pero sí que conoce el patrón de comportamiento que va a seguir la E_2. Su objetivo será maximizar el beneficio, sabiendo que el seguidor actuará según su función de reacción, para hallar la producción óptima de la E_1.

Empresa seguidora: es la empresa 2 (E_2) la que elige cuánto producir en función de la acción que haya llevado a cabo la líder. La E_2, tras observar a la E_1, habrá de actuar en consecuencia y escoger una cantidad q_2 ≥ 0. Su objetivo será maximizar el beneficio dada la producción del líder.

En el juego de Stackelberg, por tanto, la información en cuestión es la cantidad de la empresa 1: la empresa 2 conoce q_1 y la empresa 1 sabe que la empresa 2 conoce q_1. Y el hecho de que la empresa 1 sepa que la empresa 2 conoce q_1 va en contra de la empresa 2.

Si se compara el modelo de Cournot con el de Stackelberg, una primera diferencia que apreciamos está en que el modelo de Cournot es un juego simultáneo, mientras que el de Stackelberg es un juego secuencial.

Al comparar ambos modelos, la conclusión a la que podemos llegar es que:

1) La empresa 1 (líder) obtiene los mayores beneficios posibles.

2) La empresa 2 (seguidora), obtiene un beneficio menor que el que obtendría con Cournot.

Cuando comparamos la cantidad producida y el precio del bien para cada empresa, tenemos que:

Líder: $q^S_1 > q^C_1$ and $\pi^S_1 > \pi^C_1$

Según el modelo de Stackelberg, la empresa líder produciría una mayor cantidad y obtendría mayores beneficios respecto del modelo de Cournot.

Seguidor: $q^S_2 < q^C_2$ and $\pi^S_2 < \pi^C_2$

De acuerdo con el modelo de Stackelberg, la empresa seguidora va a producir una menor cantidad y obtendría menores beneficios que en el modelo de Cournot.

Con respecto al total de lo producido y a los precios, tenemos que:

$Q_M < Q_C < Q_S < Q_{CP}$

$P_M > P_C > P_S > P_{CP} = CMg$

Donde:

Q_C: cantidad total con Cournot
Q_S: cantidad total con Stackelberg
Q_{CP}: cantidad total con competencia perfecta
Q_M: cantidad total con monopolio
P_C: precio con Cournot
P_S: precio con Stackelberg
P_{PC}: precio con competencia perfecta
P_M: precio con monopolio
CMg: coste marginal

4.1.4. El cártel: colusión explícita

Las decisiones estratégicas a las que pueden optar las empresas, serían: la cooperación y la competencia. En el primer caso, ambas empresas podrían establecer un precio por encima del coste marginal ocasionando la obtención de importantes beneficios; mientras que en el segundo caso, obtendrían un menor beneficio en comparación con la cooperación. La cooperación (colusión) puede ser de dos tipos: explícita o implícita. La primera tiene su reflejo en la figura del cártel, mientras que la segunda en el liderazgo de precios.

En el cártel las empresas que cooperan coordinan tanto sus precios como sus niveles de producción con el objeto de maximizar sus beneficios conjuntos. Suelen darse en mercados muy competitivos donde la interdependencia de las empresas es vital para reducir el nivel de competencia. Un ejemplo: OPEP (Organización de Países Exportadores de Petróleo) en el que se decide sobre la cuota de producción.

A priori, se podría pensar que se trata de un monopolio puro; sin embargo, es posible encontrar dos importantes diferencias:

- Puesto que no es frecuente que controlen el mercado en su totalidad, es necesario que estas empresas tengan en consideración cómo afectarán sus decisiones de precios a la producción de la parte no controlada por ellas.

- Dado que los miembros del cártel no forma parte de la misma compañía – puesto que son varias empresas de diferentes compañías – es frecuente que tiendan a “engañar” y hacer trampas puesto que cada empresa tiene incentivos para incumplir el acuerdo (por ejemplo, bajando su precio o no respetando la cuota de mercado asignada), y atrayendo ventas de sus competidores ocasionando que su cuota de mercado aumente.

La condición de equilibrio del modelo de duopolio colusivo es:

$$IMg = Cmg_1 = Cmg_2$$

Consideraciones:

1) Para las dos empresas el coste de producir la última unidad es el mismo.

2) Existe una coincidencia entre el coste de producir la última unidad con el incremento de sus ingresos totales.

3) La colusión produce un aumento de los beneficios conjuntos obtenidos; no teniendo necesariamente que producir un incremento en los beneficios.

En este modelo las empresas (productores) coluden explícitamente en lo que a fijación de precios y niveles de producción se refiere. Los requisitos para el éxito empresarial son (Rubinfeld, 2009, p. 523):

1) Que la demanda total no sea demasiado elástica con respecto al precio

2) Que el cártel controle la mayor parte de la oferta

3) O que la oferta de las empresas no perteneciente al cártel debe ser inelástica.

Sin embargo, cabe resaltar que estas prácticas son ilegales a nivel nacional y están perseguidas por el gobierno. Además, los acuerdos colusivos tienden a incumplirse por lo que se ha implementado la denominada estrategia de castigo: cooperar y respetar tanto los precios como el nivel de producción si la otra parte ha cumplido o reducir los precios y producir con el nivel de cantidad del modelo de Cournot en el caso contrario. Esta amenaza con una estrategia de castigo las disuade de incumplir el acuerdo, porque lo que van a perder va a ser superior a lo que vayan a ganar.

4.1.5. El liderazgo de precios: colusión implícita

La rigidez en los precios es una característica de los mercados oligopolísticos: las empresas integrantes de esa estructura de mercado no alterarán fácilmente los precios aunque se den modificaciones en los costes o en la demanda.

Dicha rigidez es la base del modelo de oligopolio de curva de demanda quebrada al precio: en el sentido que en los niveles de precios más elevados, la demanda es muy elástica mientras que en los más bajos es inelástica.

Lo que todo esto contempla y explica es un principio muy básico, el cual se podría resumir así: dos empresas luchan por conseguir los máximos beneficios, los cuales derivan del volumen máximo de ventas (una porción mayor de la cuota de mercado) y precios más altos (beneficios mayores).

Esto se debe a que cada empresa es consciente de que si eleva su precio por encima del precio actual, ninguna de sus rivales la imitará perdiendo, por tanto, una gran parte de sus ventas; mientras que si lo baja, todos harán lo mismo por lo que sus ventas únicamente se verán incrementadas en la medida que aumente la demanda del mercado.

No obstante, este modelo no nos ofrece una explicación de cómo las empresas proceden a la fijación de sus precios. Para la obtención de esa explicación hemos de acudir al dilema del prisionero ya que pone de manifiesto que las empresas están más por la labor de colaborar para evitar a toda costa una guerra de precios cuyas consecuencias tanto para las empresas – en particular- como en la economía – en general- son nefastas. Por tanto, el liderazgo de precios es un tipo de colusión implícita que a veces soslaya el dilema del prisionero: una empresa fija el precio y las demás la secundan fijando el mismo.

En este modelo, la complejidad se refleja en que para las empresas es complicado llegar a un acuerdo si no media la comunicación entre ellas para establecer de forma conjunta los precios y la cantidad a producir. Para evitar caer en la ilegalidad, estas empresas emiten "señales de precios" (un tipo de colusión implícita en el que una empresa hace llegar al mercado – normalmente en forma de anuncio- que va a aumentar los precios esperando que sus rivales la imiten para obtener a corto plazo un incremento en los beneficios de todas las empresas participantes). Si se producen de una manera continuada a través del precio, se dice que se está ante una estrategia de liderazgo de precios que resuelve el problema de coordinarse para fijar el precio puesto que lo que las demás empresas deben seguir es la pauta fijada por la líder.

Lo más normal es que la empresa líder surja de forma natural y la otra empresa la siga con objeto de adaptarse a las necesidades cambiantes, sobre todo cuando la rigidez de los precios se ha mantenido durante un largo período de tiempo.

El problema reside en el hecho de que el incremento de los beneficios mediante mayores precios puede perjudicar a los ingresos debido a la pérdida de cuota de mercado.

Cournot enfoca esto mediante la maximización de la cuota de mercado y los ingresos definiendo el precio óptimo. Este precio óptimo será el mismo para ambas empresas, ya que de otra manera la empresa con el precio más bajo se hará con todo el mercado, lo que hace de esto un *equilibrio de Nash*, también conocido en este modelo como el equilibrio de Cournot-Nash.

Extendiendo el modelo a más de dos empresas, el equilibrio del juego se acerca al resultado de la competencia perfecta debido a que el número de empresas aumenta, decreciendo por tanto la concentración del mercado.

4.2. Aplicaciones recientes de la Teoría de Juegos

La Teoría de Juegos en los últimos años se ha aplicado cada vez más en problemas prácticos y tiene una participación activa en el proceso de dirección y administración estratégica de empresas. A través de esta disciplina, se puede llegar a explicar por qué ciertos comportamientos irracionales o altruistas resultan ser productivos y por qué las empresas que se dedican a estos comportamientos sobreviven y prosperan en un mundo tan competitivo.

4.2.1. Subastas

El primer campo de aplicación de la Teoría de Juegos que se presenta, es el de las subastas. En este terreno cabe destacar un estudio llevado a cabo por Pigolotti[3] que analiza si el comportamiento en mercados financieros y económicos depende más de elementos racionales o de incontrolables. Se basa en el análisis de los resultados obtenidos en más de 700 subastas. Llegó a las siguientes conclusiones:

[3] "Con más de 1.000 jugadores, las subastas cambian", 2012. Artículo de EL PAÍS, acerca de un estudio publicado en la revista Physical Review Letters, Simone Pigolotti, de la Universitat Politècnica de Cataluña.
Disponible en: https://elpais.com/sociedad/2012/04/10/actualidad/1334072697_682993.html (consulta 10/05/2018).

- Con menos de 1000 jugadores en el resultado final influye básicamente el azar, al producirse un equilibrio entre jugadores, que actúan de forma similar y tienen las mismas probabilidades de ganar.

- Cuando en las subastas participan más de 1000 jugadores, la probabilidad de ganar a los contrincantes ya no depende del azar, sino de adoptar un tipo de estrategia diferente a la escogida por la mayoría.

Por otra parte, una forma habitual de subastar es mediante ofertas simultáneas en sobres cerrados. Suponiendo que un ayuntamiento desea contratar los servicios de jardinería del municipio, o de recogida de basuras, y para ello organiza una subasta, donde pide a las empresas que se quieran presentar que entreguen en sobre cerrado su mejor oferta por sus servicios, de manera que el ayuntamiento elegirá la que le salga más barata. Tres empresas se presentan, la primera lo puede hacer por 100.000 euros como mínimo, la segunda por 105.000 y la tercera, la menos competitiva, por 110.000. Sin embargo, la primera empresa puede pensar que si propone una cantidad superior y todavía es la mejor oferta, se quedará el contrato y obtendrá mayores beneficios. Y lo mismo puede pensar las otras empresas. Es muy probable que el ayuntamiento termine pagando más por dicho comportamiento. Imaginemos que todas aumentan un 10% su mejor oferta, adjudicando el contrato por 110.000 euros. Una alternativa es la subasta tipo Vickrey, donde el contrato se da al mejor postor pero por el monto del segundo mejor postor. Se comprueba que con este mecanismo todas las empresas participarían en la subasta con su mejor oferta real, sin que les compensara “inflar” su oferta. En el ejemplo, si no se incrementan los precios ofertados, el ayuntamiento terminaría pagando 105.000 euros, ahorrándose 5.000 euros (110.000-105.000=5.000 euros de descuento).

4.2.2. La dirección estratégica

A continuación se analizará la estrecha vinculación entre la Teoría de Juegos y la dirección estratégica, en vista de que ambas involucran la toma de decisiones. La dirección estratégica trata de cómo dirigir las organizaciones e incluye aquellos temas que son importantes para los gerentes o ejecutivos que buscan las causas de éxito o fracaso de las empresas (Rumelt, Schendel, & Teece, 1991). Este proceso se compone de los siguientes pasos: (a) analizar el ambiente externo e interno, (b) formular la estrategia, (c) implementar la estrategia y (d) evaluar la estrategia (Hahn, 2013). Desde el punto de vista de la Teoría de Juegos aplicada a la dirección estratégica de las empresas, se entiende a estas como jugadores que se desenvuelven en un ambiente competitivo que deben seleccionar estrategias. Una empresa depende de la toma de decisiones, las cuales son fundamentales para su sustentabilidad futuras. Los otros jugadores son: los competidores, proveedores, clientes y consumidores. Las decisiones que estos ejecuten afectarán a los otros, por ello es muy importante que todos los participantes sepan cómo gestionar las estrategias. Para el caso de una empresa en concreto, ha de entender cómo piensan los otros jugadores y deducir qué acciones tomarán. Para asegurarse el éxito, las empresas deben cerciorarse de realizar una acertada toma de decisiones estratégicas, o en otras palabras "jugar el juego correcto". En este sentido, la Teoría de Juegos es importante porque tiene como objetivo otorgar a los gerentes, directivos y ejecutivos de empresas principios que los ayuden al ordenamiento y a la toma de decisiones estratégicas (Tarziján & Paredes, 2006).

En este contexto de la dirección estratégica, se tratará la aplicación de la Teoría de Juegos tanto en el Marketing como en la investigación y desarrollo (I+D). En ambos casos, se considera que son áreas fundamentales dentro de la organización donde se establecen estrategias, por ejemplo para aumentar o mantener la participación de mercado; o reducir los costos de la investigación y desarrollo. La Teoría de Juegos se aplica en el Marketing para determinar qué variables del Marketing mix entrarán en juego, mientras que en la I+D, aunque desde un punto de vista de la Teoría de Juegos la cooperación no necesariamente conlleve a un buen desempeño, es necesaria para reducir los costos de investigación y desarrollo.

Sin embargo, la Teoría de Juegos es un marco conceptual dominante para analizar el comportamiento de los competidores y de los consumidores.

La oferta de las cadenas de gestión es otra aplicación de la Teoría de Juegos en la dirección estratégica, ya que el marco teórico del juego es el método más popular que analiza diferentes mecanismos de asignación que afectan el comportamiento y rendimiento de la cadena de suministro (Chen et al., 2012). Cuando la demanda es alta puede provocar un déficit de capacidad a corto plazo; un proveedor con limitaciones de capacidad divide la oferta limitada entre los posibles minoristas (Attanasi et al., 2016). Como consecuencia de esta escasez, los minoristas pueden elegir sus pedidos estratégicamente y tal comportamiento tiene profundas implicaciones sobre los beneficios y la eficiencia de la cadena de suministro. En cuanto a las opciones de comercialización en la industria, en la teoría de captura de valores las empresas emergentes tienen que elegir entre competir con los modelos de rendimiento establecidos o cooperar con ellos. Este modelo utiliza la teoría de la captura de valores explícitamente modelado de la cantidad de valor creado a través de una opción cooperativa en relación con tener en cuenta el hecho de que esas opciones pueden repercutir en la creación de valor y también el valor que cada parte puede garantizar (Marx et al., 2014).

El hilo común a la teoría de captura de valores es el uso de la teoría cooperativa de juegos como un fundamento matemático general para construir una comprensión profunda del rendimiento de las empresas en los mercados. Algunos trabajos que defienden esta idea son: Gans y Ryall (2016), Levinthal y Wu (2010), Marx et al. (2014).

4.2.3. Aplicaciones del dilema del prisionero

El análisis económico ha formalizado el conflicto entre los intereses individuales y el interés colectivo en el dilema del prisionero. Dicho conflicto está presente en muchas situaciones de la vida diaria y es objeto de estudio transdiciplinar. El dilema del prisionero se aplica, entre otros, en dos campos de la microeconomía: la referida a la financiación de bienes públicos y la que trata de la gestión de recursos en común. En el primer caso, los individuos tratan de beneficiarse de un servicio público evitando participar en su financiación y delegando esta responsabilidad en los demás actores. A este comportamiento, paradigmático del fraude fiscal, se le conoce como de “polizón” (Mancur Olson, 1965). En la segunda interpretación del dilema del prisionero, se hace referencia explícita a la tendencia de los individuos a sobreexplotar con fines personales los recursos comunes en detrimento de la colectividad. Este fenómeno se conoce con la expresión “tragedia de los bienes comunes” (Garrett Hardin, 1968). Lo relevante en ambas interpretaciones es que el análisis económico se ha servido del concepto de externalidad para formalizar el conflicto entre los intereses individuales y el interés colectivo, diferenciando los costes privados del coste social externo (James Meade, 1952; Ronald Coase, 1960; James Buchanan y Craig Stubblebine, 1962). Así por ejemplo, se identifica como coste social externo el empobrecimiento de los recursos naturales sobreexplotados, las enfermedades asociadas a las emisiones contaminantes, el deterioro ambiental y paisajístico asociado al vertido incontrolado de residuos, la disminución de la capacidad del Estado para financiar servicios públicos en presencia de fraude fiscal, la desestabilización institucional achacable a las situaciones de corrupción, etc.

Una aplicación del dilema del prisionero es la gestión de recursos naturales (bien común), es decir, el estudio de las situaciones en las que un cierto número de empresas desean coordinarse a la hora de planificar su producción utilizando para ello los recursos y técnicas de producción que poseen en conjunto. En estos casos, si estos recursos no se gestionan adecuadamente, se puede llegar a su sobreexplotación. Además, la aplicación de la Teoría de Juegos a la gestión de recursos naturales es también un tema recurrente en la literatura respectiva (Dinar et al. entre otros, 2012). Un problema de actualidad desde hace más de 20 años, que puede enmarcarse dentro del tipo de problemas de producción con un recurso común externo, es el de las emisiones de dióxido de carbono. La Teoría de Juegos cooperativos resulta una herramienta muy eficaz en el análisis de este tipo de situaciones.

Una última aplicación del dilema del prisionero, consiste en un caso de juego simultáneo: como ya se ha comentado, el dilema del prisionero es un ejemplo significativo de cómo la cooperación de los participantes conduce a una solución eficiente, pero que es inestable porque existen incentivos para romper unilateralmente los acuerdos. La duda que surge, es: ¿por qué no se logró incentivar y coordinar a todos los habitantes para disminuir el consumo? Pues bien, a través del dilema del prisionero se puede dar una respuesta viable. En este “juego”, cada ciudadano sabe que si él y todos los demás ahorran energía, todos estarían mejor. Sin embargo, la estrategia dominante para cada uno de ellos es no ahorrar energía, ya que si los demás ahorran él estará incluso mejor no ahorrando, pues la acción del resto evita el racionamiento, mientras que si los demás no ahorran él también estará mejor no ahorrando, ya que no podrá evitar el racionamiento.

4.2.4. La contaminación y la cooperación

Mediante el “juego de la contaminación”, en un mundo de empresas no reguladas, la empresa maximizadora de beneficios preferirá contaminar a instalar equipos anticontaminantes. Resulta, además, que cualquier empresa especialmente sensibilizada por el medio ambiente que instale los equipos necesarios para no contaminar tendría unos costes de producción más elevados, lo que le haría fijar unos precios mayores y perdería buena parte de la clientela y hasta podría quebrar. Las fuerzas de la competencia llevarán a todas las empresas a una situación que podríamos caracterizar como de equilibrio de Nash, en el sentido de que ninguna de las empresas puede obtener más beneficios reduciendo la contaminación. Sin intervención por parte del Estado la solución sería el equilibrio de Nash no cooperativo, en el que la contaminación es alta, pues ninguna de las empresas puede obtener más beneficios reduciendo la contaminación. Se plantea una situación en la que el equilibrio no cooperativo o de Nash es socialmente ineficiente. Cuando se está ante equilibrios descentralizados que son ineficientes y socialmente no deseables, el Estado puede intervenir estableciendo una normativa sobre las industrias contaminantes o unas tasas sobre las emisiones. Esta intervención puede imponer el equilibrio cooperativo, en el que ambas empresas contaminan poco y, sin embargo, obtienen los mismos beneficios que si siguieran una estrategia de contaminación elevada. (Mochón, 2009, p. 181)

5. CONCLUSIONES

Lo que se ha pretendido en este trabajo es dar una visión general de La Teoría de Juegos para exponer, posteriormente, las diversas aplicaciones que tiene en la Economía actual. En primer lugar, se hace una breve presentación a la Teoría de Juegos así como un resumen de su historia. En el tercer apartado, se explica qué es un juego y sus elementos, también se citan los tipos de juegos y las formas de representarlos (de forma normal, extensiva o coalicional). Por último, se trata de las aplicaciones de la Teoría de Juegos en la Economía desde las aplicaciones clásicas a las más recientes, acercando la Teoría de Juegos a la vida real, demostrando que se pueden aplicar los conceptos de esta ciencia en múltiples contextos. Se llega a la conclusión de que esta disciplina tiene muchas aplicaciones en la Economía y en otras ciencias, que tiene un gran desarrollo y utilidad en el presente y grandes aspiraciones de futuro.

6. BIBLIOGRAFÍA

Aguiar, F. Barragán, J. y Lara, N. (2008): *Economía, sociedad y Teoría de Juegos*. Mc-Graw Hill.

Binmore, K. (1994): *Teoría de Juegos*. Mc-Graw Hill.

Deulofeu, J. (2016): *Teoría de Juegos. Prisioneros con dilemas y estrategias dominantes.* National Geographic, edición especial.

Dinar, A., Albiac, J., Sánchez-Soriano, J. (2008): *Teoría de Juegos y formulación de políticas en los recursos naturales y el medio ambiente*.

Doblado Burón, J. M. Nieto Ostolaza, M. C. y Santos Peñas, J. (2003): *Juegos de estrategia. Una revolución silenciosa en la economía y en la empresa.* UNED.

El País (2012): *Con más de 1.000 jugadores, las subastas cambian*, 10/04/2012. Disponible en:

https://elpais.com/sociedad/2012/04/10/actualidad/1334072697_682993.html [consulta 10/05/2018].

Fuentes Castro, D. (2007): *La sobreexplotación de lo colectivo y la solución del único propietario*. Disponible en: https://www.fundacionsistema.com/wp-content/uploads/2015/05/PPios8_Fuentes-Castro.pdf [consulta: 10/04/2018]

Gibbons, R. (1993): *Un primer curso de Teoría de Juegos*. Antoni Bosch Editor.

Hardin, G. (1968): *La tragedia de los comunes*. Disponible en: https://www.uam.es/personal_pdi/ciencias/jonate/Eco_Rec/Intro/La_tragedia_de_los_comunes.pdf [consulta: 24/04/2018]

Mochón Marcillo, F. (2009): *Introducción a la Macroeconomía*. MCGraw-Hill / Interamericana de España.

Pérez Navarro, J. Jimeno Pastor, J.L. y Cerdá, E. (2004): *Teoría de Juegos*. Editorial Ibergaceta Publicaciones S.L.

Pindyck, R.S. y Rubinfeld, D.R. (2009): *Microeconomía.* Pearson Prentice Hall.

The Official Web Site of the Nobel Prize (2018). Listado de Premios Nobel de Economía, disponible en: https://www.nobelprize.org/nobel_prizes/economic-sciences/laureates/ [consulta: 06/04/2018]

Universidad Técnica de Ambato, Universidad Estatal Península de Santa Elena (2016): *La Teoría de Juegos en la Administración Estratégica Empresarial*. Disponible en: file:///C:/Users/USUARIO/Downloads/372-1468-1-PB%20(1).pdf [consulta: 11/04/2018]

Revista Espacios (2017): *Aplicaciones de la Teoría de Juegos en el proceso de Dirección y Administración Estratégica de Empresas: Marketing e Investigación y Desarrollo.*
Disponible en: http://www.revistaespacios.com/a17v38n47/a17v38n47p03.pdf [consulta: 20/04/2018]

Valencia, J.F. (Universidad del País Vasco, 1990): *La lógica de la acción colectiva: tres modelos de análisis de la participación política no institucional*. Disponible en: file:///C:/Users/USUARIO/Downloads/Dialnet-LaLogicaDeLaAccionColectiva-2904536.pdf [consulta: 24/04/2018]