

LOS PREMIOS NOBEL DE ECONOMIA 1994

A. Jorge Padilla y Rafael Repullo
CEMFI

1. INTRODUCCION.

La concesión del Premio Nobel de Economía de 1994 a los profesores norteamericanos John Nash y John Harsanyi y al profesor alemán Reinhard Selten por "su análisis fundamental del equilibrio en la teoría de juegos no cooperativos" supone el reconocimiento de una disciplina que, en los últimos años, ha revolucionado nuestra forma de entender las ciencias sociales y, muy especialmente, la economía.

La teoría de juegos se puede definir como "el estudio de modelos matemáticos de cooperación y conflicto entre agentes racionales"(1). Su nacimiento se suele fechar en el año 1944, con la publicación del libro del matemático John von Neumann y el economista Oskar Morgenstern titulado *La teoría de juegos y el comportamiento económico*, aunque sus antecedentes se encuentran en los trabajos sobre mercados oligopolísticos de los economistas matemáticos franceses del siglo XIX Augustin Cournot y Joseph Bertrand. El objetivo de esta teoría es analizar situaciones en las que dos o más agentes toman decisiones independientes que afectan conjuntamente a su bienestar. Así pues, y en contra de lo que su nombre pueda sugerir, la teoría de juegos no tiene por objeto principal el estudio de juegos de salón, sino que su ámbito es, en realidad, el conjunto de las ciencias sociales.

El propósito de esta nota es hacer una breve introducción a la teoría de juegos que explique, de manera accesible, las principales contribuciones de los tres premiados. Así, empezaremos por describir los elementos básicos de una situación de juego, para después analizar las soluciones (o conceptos de equilibrio) propuestas por John Nash para juegos estáticos(2), Reinhard Selten para juegos dinámicos(3) y John Harsanyi para juegos con información incompleta(4).

2. DESCRIPCION DE UNA SITUACION DE JUEGO.

Aunque existan diversas formas de describir una situación de juego, la alternativa más sencilla comprende los siguientes elementos:

- a) El conjunto de jugadores (dos o más).
- b) Los diversos momentos en los que cada uno de los jugadores ha de llevar a cabo una acción.
- c) Las posibles acciones que puede tomar cada uno de los jugadores cuando le llegue su turno.

- d) La información de la que dispone cada uno de ellos a lo largo de la situación de juego; y, finalmente,
- e) La manera en la que las estrategias elegidas por los jugadores afectan al bienestar de todos y cada uno de ellos.

Esta forma de describir un juego presupone que cada jugador conoce la manera precisa en la que las estrategias elegidas afectan a su propio bienestar y al bienestar de todos sus rivales, esto es, que los jugadores actúan en un contexto de *información completa*. En caso contrario, si algún jugador desconoce los determinantes del bienestar de alguno de sus rivales, entonces los jugadores actúan en un contexto de *información incompleta* (véase la Sección 5).

Como ilustración, consideremos una situación de juego real, como la que caracterizó la entrada de Apple en el mercado de los ordenadores en EE.UU., con el posterior enfrentamiento competitivo entre Apple e IBM. En este juego existen dos jugadores: Apple e IBM. En un primer momento, Apple decide si entrar o no en el mercado de ordenadores, donde ya opera con éxito IBM. Sus acciones en este momento del juego son, pues, entrar o no entrar. Supongamos que, tras observar la acción llevada a cabo por Apple, IBM tiene que decidir si invierte en el desarrollo de un nuevo ordenador de mayor calidad con el que competir en mejores condiciones con Apple o, por el contrario, renuncia a dicha inversión y comparte el mercado con su nuevo competidor. La decisión de IBM se lleva a cabo conociendo la decisión de Apple, por lo que la situación de juego se desarrolla bajo *información perfecta*. Alternativamente, podríamos haber considerado que, en realidad, la información disponible por IBM en el momento de actuar era menos precisa; por ejemplo, que IBM desconocía la acción llevada a cabo por Apple, con lo que esta situación de juego se habría desarrollado bajo *información imperfecta*.

Una *estrategia de juego* para un jugador cualquiera es un plan completo que especifica una acción (de las incluidas en el punto c) para cada uno de los momentos en los que el jugador debe actuar (descritos en el punto b) dada la información disponible (incluida en el punto d).

En el contexto de nuestro ejemplo, las estrategias de Apple se reducen a si entrar o no entrar en el mercado de ordenadores. La forma de las estrategias de IBM depende de si es capaz o no de observar la acción de Apple antes de actuar. Si no la observa, sus estrategias son: invertir o no invertir. Si la observa, sus estrategias son las siguientes: invertir si Apple entra, no invertir si Apple entra, invertir si Apple no entra, no invertir si Apple no entra.

Finalmente, dadas las estrategias de juego empleadas por los distintos jugadores, la descripción del juego especifica su nivel de bienestar. En nuestro ejemplo, las estrategias de Apple e IBM determinarán sus respectivos niveles de beneficios.

3. EQUILIBRIO DE NASH.

Dada una situación de juego (como, por ejemplo, la descrita en la sección anterior), la cuestión que se plantea el analista es encontrar su solución, esto es, predecir el comportamiento óptimo de los jugadores. La aportación de John Nash a este problema fue la de proponer un criterio para descartar lo que *no* puede ser solución de un juego; en concreto, un conjunto de estrategias (una para cada jugador) no es solución si uno de los jugadores puede aumentar su

bienestar cambiando de estrategia dadas las estrategias de los demás jugadores. Alternativamente, toda propuesta de solución ha de verificar la siguiente condición de equilibrio: las estrategias correspondientes a la solución propuesta han de ser mutuamente compatibles, en el sentido de que ningún jugador tenga un incentivo a cambiar de estrategia. Un conjunto de estrategias constituye un *equilibrio de Nash* si y sólo si verifica esta condición de equilibrio.

Para ilustrar este concepto de solución, retomamos, con la ayuda de la figura núm. 1, el ejemplo de la sección anterior (con información imperfecta).

En este juego, Apple (A) decide si entrar o no en el mercado de ordenadores donde ya opera IBM (I). Las estrategias de Apple son entrar (Si) o no entrar (No). La entrada de Apple en el mercado conlleva unos costes fijos irrecuperables de 1 millón de dólares(5). IBM es consciente de la posible entrada de Apple en el mercado. Su única respuesta posible ante dicha entrada es invertir en el desarrollo de un nuevo ordenador más potente, para lo que se requiere un desembolso de 3 millones de dólares. Sin embargo, el desarrollo de este nuevo ordenador exige un cierto lapso de tiempo, por lo que la decisión de IBM ha de tomarse sin esperar a conocer si Apple decide definitivamente entrar en el mercado. En términos de la figura núm. 1, cuando IBM decide qué estrategia acometer no conoce con exactitud si se encuentra en el nodo I1 ó en el nodo I2 (para reflejar gráficamente ese desconocimiento, ambos nodos aparecen conectados por un par de líneas discontinuas).

Si Apple decide no entrar e IBM no invierte en el nuevo ordenador, ambas empresas obtienen unos beneficios de 0 y 4 millones de dólares, respectivamente. Si Apple no entra e IBM sí invierte en el nuevo ordenador, los beneficios de Apple siguen siendo nulos, pero los de IBM se ven disminuidos por el coste de la inversión para quedar en 1 millón de dólares. Si Apple decide entrar e IBM no desarrolla su nuevo producto, IBM pierde la mitad del mercado de ordenadores en favor de Apple, con lo que sus beneficios se reducen a 2 millones de dólares, mientras que los beneficios de Apple, tras deducir los costes de entrada, pasan a ser de 1 millón de dólares. Finalmente, si Apple entra en este mercado pero IBM desarrolla su nuevo ordenador, la estrategia de Apple resulta fallida (con la pérdida consiguiente de los costes de entrada valorados en 1 millón de dólares), ya que IBM consigue retener todo el mercado. Los beneficios de IBM en este último escenario, tras deducir los costes de desarrollo, son de 1 millón de dólares. En la figura núm. 1, los beneficios de los jugadores en cada uno de los posibles desarrollos del juego se representan por pares de la forma (a,b) , donde a son los beneficios de Apple y b los de IBM.

En este juego, la siguiente configuración de estrategias constituye un equilibrio de Nash: Apple elige entrar (Si) e IBM no invierte en el nuevo ordenador (No). Estas estrategias satisfacen la condición de equilibrio descrita al comienzo de esta sección. Dado que Apple entra en el mercado, la mejor respuesta de IBM es no invertir, ya que ello supone unos beneficios de 2 millones de dólares frente al millón de dólares que obtendría si invirtiera en el nuevo ordenador. Por otra parte, dado que IBM no invierte, la mejor respuesta de Apple es entrar en el mercado para así obtener beneficios positivos. Por tanto, se verifica la condición de que ningún jugador tiene un incentivo a cambiar su estrategia dada la de su rival. Además, utilizando esta forma de razonar se puede comprobar que ninguna otra configuración de estrategias es solución (esto es, es un equilibrio de Nash) de este juego. Gráficamente, la solución del juego se representa mediante el trazo grueso para la rama Si que parte del nodo A y para la rama No con origen en los nodos I1 e I2.

Así pues, la utilización del concepto de solución propuesto por John Nash para el análisis de situaciones de juego nos permite concluir que en el juego que acabamos de estudiar la única predicción racional es que Apple entrará en el mercado de ordenadores e IBM renunciará a competir con Apple mediante el desarrollo de un nuevo ordenador. Una predicción que, *grosso modo*, se corresponde con los hechos.

4. LA CONTRIBUCION DE SELTEN: EQUILIBRIO PERFECTO.

En esta sección presentamos la aportación de Reinhard Selten al análisis de la solución de juegos dinámicos, entendiendo por tales aquellos en los que los jugadores toman sus decisiones de forma secuencial. Como ilustración de este tipo de juegos, utilizaremos la versión del juego entre Apple e IBM, representada en la figura núm. 2, en la que IBM toma su decisión de inversión después de observar la entrada de Apple (de modo que este juego es de información perfecta).

En este juego existen dos equilibrios de Nash. En el primero, Apple elige no entrar (No) e IBM (en el hipotético caso de que Apple entrara) decide invertir en el desarrollo de un nuevo ordenador (Si). En el segundo equilibrio (que es el representado mediante trazos gruesos en la figura núm. 2), Apple elige entrar (Si) e IBM no invierte en el nuevo ordenador (No).

Obsérvese que la primera configuración de estrategias (No-Si) es, en efecto, un equilibrio de Nash. Dada la estrategia de Apple, IBM se encuentra indiferente entre sus dos estrategias posibles (ambas suponen unos beneficios de 4 millones de dólares), por lo que podemos suponer que elige invertir en caso de que Apple entre. Por otro lado, dado que IBM amenaza con invertir, la mejor opción de Apple es no entrar en el mercado, ya que de esta manera evita las pérdidas que conlleva la entrada.

Sin embargo, de acuerdo con Selten, este equilibrio de Nash no es una predicción racional del desarrollo de este juego. En concreto, la decisión de Apple está condicionada por una amenaza de respuesta de IBM que no es creíble, ya que en el caso de que Apple entrara IBM preferiría no invertir, pues ello supone unos beneficios de 2 millones de dólares frente al millón de dólares que obtendría si finalmente invirtiera en el nuevo ordenador.

Una estrategia de equilibrio es *creíble* si postula un plan de acción que es óptimo para todo posible desarrollo del juego (esto es, si especifica respuestas óptimas de los jugadores para cualquier nodo en el que se pueda encontrar el juego). Un equilibrio de Nash se dice que es *perfecto* si verifica la condición de que las estrategias de equilibrio sean creíbles.

El segundo equilibrio de Nash descrito anteriormente (Si-No) es un equilibrio perfecto: dado que IBM prefiere no invertir si se produce la entrada de Apple, esta empresa elige entrar para de esta manera obtener beneficios positivos. Esta es, de hecho, la única predicción racional del desarrollo de este juego.

La aportación de Selten al análisis de juegos dinámicos fue precisamente la de descartar como solución aquellos equilibrios de Nash basados en amenazas (o promesas) increíbles por parte de alguno de los jugadores.

Para entender mejor el concepto de amenaza creíble (y preparar el terreno para el análisis de la sección siguiente), analizamos un juego alternativo en el que los costes de desarrollo del nuevo ordenador por parte de IBM ascienden a 1 millón de dólares (en lugar de los 3 millones supuestos anteriormente). En este juego, representado en la figura núm. 3, el único equilibrio perfecto consiste en que Apple elige no entrar (No), ya que, en el caso de que entrara, IBM preferiría invertir en el desarrollo de un nuevo ordenador (Si). Dados los bajos costes de desarrollo del nuevo ordenador, la amenaza de IBM es ahora creíble.

5. LA CONTRIBUCION DE HARSANYI: EQUILIBRIO BAYESIANO.

En muchas situaciones de juego del mundo real, algunos jugadores pueden desconocer la manera precisa en que las estrategias elegidas afectan al bienestar de otros jugadores; esto es, los jugadores actúan bajo información incompleta (véase la Sección 2). En el contexto del juego entre Apple e IBM, podemos suponer que Apple no conoce los beneficios de IBM en el caso de que decida entrar e IBM responda con el desarrollo de un nuevo ordenador, puesto que los costes de desarrollo de este ordenador son información privada de IBM. La contribución de John Harsanyi, por la que ha sido premiado con el Nobel de Economía, consiste en proponer una manera de analizar la solución de este tipo de juegos con información incompleta.

La idea básica de Harsanyi es la de transformar el juego con información incompleta en un juego equivalente con información imperfecta (como el analizado en la Sección 3) en el que se introduce un jugador ficticio que elige aleatoriamente una de las distintas descripciones posibles del juego. En el caso de nuestro ejemplo, el jugador ficticio (F) elegiría entre unos costes de desarrollo de IBM altos (3 millones de dólares) o bajos (1 millón de dólares), con unas probabilidades que corresponden a la evaluación subjetiva de Apple de las probabilidades de ocurrencia de las dos alternativas. Por ejemplo, podemos suponer que Apple estima que la probabilidad de que los costes de desarrollo de IBM sean altos (bajos) es de $2/3$ ($1/3$). Este juego se representa gráficamente en la figura núm. 4, en la que la ignorancia por parte de Apple de los costes de desarrollo de IBM se describe por medio de las líneas discontinuas que conectan los nodos A1 y A2. Obsérvese, sin embargo, que los nodos I1 e I2 no están conectados entre sí, ya que IBM sí que conoce cuáles son los costes de desarrollo del nuevo ordenador.

Un *equilibrio Bayesiano* de un juego con información incompleta es simplemente un equilibrio de Nash del juego equivalente con información imperfecta(6). Para el caso de nuestro ejemplo, la siguiente configuración de estrategias constituye un equilibrio Bayesiano (que además satisface el criterio de credibilidad de Selten): Apple elige entrar (Si) e IBM no invierte en el nuevo ordenador (No) si sus costes de desarrollo son altos (esto es, cuando se encuentra en el nodo I1) e invierte si sus costes son bajos (esto es, cuando se encuentra el nodo I2). En la sección anterior hemos analizado la optimización de estas decisiones de IBM (obsérvese que a partir de los nodos A1 y A2 el juego es idéntico al representado en las figuras núms. 2 y 3, respectivamente). Por lo que respecta a la decisión de Apple, su justificación es la siguiente: en el caso de que decida entrar, Apple considera que con una probabilidad de $2/3$ IBM no responderá con el desarrollo del nuevo ordenador, mientras que con una probabilidad de $1/3$ IBM responderá. En el primer caso, los beneficios de Apple son de 1 millón de dólares, mientras que en el segundo sus pérdidas son también de 1 millón de dólares. Sin embargo, como la primera alternativa es más probable, Apple decide entrar, lo que le proporciona unos beneficios esperados positivos de $2/3 - 1/3 = 1/3$ millones de dólares.