

Los Premios Nobel de Economía, Harsanyi, Nash y Selten: El funcionamiento de los mercados desde la teoría de juegos

Vicente Salas Fumás (*)

Introducción

Este texto fue preparado con el objeto de servir de soporte para la conferencia que, bajo el mismo título, pronuncié en la sede la Societat Catalana d'Economia, con motivo del acontecimiento de la concesión del premio Nobel de Economía 1994. Agradezco a los profesores Jané y Puig la invitación a participar en el acto y a los asistentes al mismo su atención y comentarios.

Como es sabido, la Real Academia Sueca de las Ciencias decidió conceder el Premio Nobel de Economía 1994, conjuntamente a los profesores John C. Harsanyi, de la Universidad de Berkeley, John F. Nash, de la Universidad de Princeton, y Reinhard Selten, de la Universidad de Bonn, por sus trabajos pioneros en el análisis del equilibrio en la teoría de los juegos no cooperativos. Nuestro propósito en estas notas es proporcionar una breve síntesis de las principales aportaciones de los premiados y hacer una valoración general de lo que han supuesto tales aportaciones para el estudio económico del funcionamiento de los mercados.

La teoría de los juegos tiene su origen en el estudio de juegos conocidos, como el póquer o el ajedrez. Los jugadores de estos juegos deben anticipar cuales serán los movimientos previsibles de sus oponentes en el futuro y diseñar estrategias que tengan en cuenta las reacciones de los demás jugadores a cada una de las jugadas. Estos juegos ejemplifican muy bien las interdependencias estratégicas que ocurren en muchas situaciones económicas, especialmente cuando el número de agentes que interaccionan en ellas es relativamente pequeño. Por ello la teoría de los juegos se ha demostrado especialmente útil para el análisis económico y en particular para lo que puede denominarse "economía de los números pequeños".

La integración de la teoría de los juegos en el análisis económico se considera iniciada con el libro de John von Neumann y Oscar Morgenstern, "Theory of Games and Economic Behavior" (1944). La Academia Sueca premia a la teoría de los juegos justo a los 50 años de la publicación de este libro y cuando se ha convertido en la herramienta dominante del análisis económico. En la explicación del Premio, la Academia alude expresamente a los juegos no cooperativos como la parte de dicha teoría que se reconoce con el mismo. Los juegos no cooperativos modelizan situaciones donde las interdependencias no pueden resolverse a través de acuerdos vinculantes entre los agentes que interaccionan, con lo cual la solución queda a priori indeterminada. Nash, Selten y Harsanyi reciben el premio Nobel precisamente por sus aportaciones a superar la indeterminación a través del concepto de equilibrio del juego.

John Nash introdujo la distinción entre juegos cooperativos, donde los acuerdos vinculantes sí son viables, y juegos no cooperativos. También desarrolló un primer concepto de equilibrio para los juegos no cooperativos donde los jugadores poseen información completa y deciden simultáneamente. Reinhard Selten refina el equilibrio de Nash y lo extiende a situaciones donde

(*) Universidad Autónoma de Barcelona. Agradezco comentarios y sugerencias de Miguel A. García Cestona en una versión previa del trabajo.

existen elementos dinámicos y movimientos secuenciales de los jugadores. John Harsanyi sustituye la hipótesis de información completa por la de información incompleta iniciándose así una vía de integración entre la teoría de los juegos y la parcela de investigación económica conocida como Economía de la información.

El análisis económico encuentra en la teoría de los juegos no cooperativos una base metodológica de gran utilidad para hacer predicciones en presencia de interacciones estratégicas. Estas ocurren cuando las acciones óptimas para cada jugador dependen de sus creencias y expectativas sobre las jugadas de los oponentes. La economía de los mercados de competencia perfecta, al suponer un número grande de agentes interaccionando en los mismos, busca soluciones de equilibrio en las que se descarta la reacción de los demás a las acciones de cada uno. Pero en la realidad existen muchas situaciones donde esta hipótesis es difícil de mantener. Cuando en un mercado concurren pocas empresas, cuando se debe llevar a cabo un acuerdo comercial entre países, cuando patronal y sindicatos negocian acuerdos salariales ..., cada agente debe tener en cuenta las reacciones y expectativas de los demás a la hora de tomar sus decisiones y, por tanto, la hipótesis de interdependencia estratégica es más realista.

La respuesta a la interacción estratégica puede ser la coordinación entre las decisiones de todos los agentes afectados buscando una mayor eficiencia colectiva. La solución coordinada exige un acuerdo ex-ante sobre lo que le corresponde hacer a cada uno y la confianza de que ex-post, dicho acuerdo será efectivamente cumplido por todos. En la mayoría de los ejemplos apuntados esto no es posible por diversas razones. Si las pocas empresas que concurren en un mercado acuerdan las acciones competitivas de cada una de forma coordinada, el acuerdo no tendrá respaldo legal, sino más bien lo contrario si se demuestra que restringe la competencia y produce pérdidas de bienestar en los consumidores. Los acuerdos entre países difícilmente pueden obtener la garantía legal de los tribunales de justicia cuando estos disponen de escasos medios para hacer cumplir sus resoluciones o cuando resulta muy difícil aportar pruebas concluyentes de que un país ha incumplido los términos del acuerdo. En suma, la interdependencia que se crea en situaciones de números pequeños difícilmente puede resolverse a través de los acuerdos vinculantes (y si lo son, la teoría de los juegos cooperativos aporta elementos metodológicos para hacer predicciones sobre los resultados), debiendo ser analizadas bajo la hipótesis general de que la coordinación ex-ante se sustituye por la interacción estratégica ex-post. Es aquí donde los conceptos de equilibrio desarrollados en la teoría de los juegos no cooperativos resultan especialmente útiles.

Aportaciones de los premiados: Conceptos de equilibrio en juegos no cooperativos

El concepto de *equilibrio* propuesto por Nash constituye una generalización, para un número arbitrario de jugadores y unas funciones de preferencias también arbitrarias, del equilibrio en juegos de los dos jugadores y suma nula (las ganancias de un jugador son iguales a las pérdidas del otro) propuesto por Von Neumann y Morgenstern. Al igual que Neumann y Morgenstern, profesores en Princeton cuando Nash realiza en esta universidad estudios de doctorado en Matemáticas a finales de los años cuarenta, el modelo construido por Nash contempla una situación donde cada jugador decide unilateralmente su estrategia a seguir, desconociendo la estrategia seguida por el otro, pero conociendo del conjunto de estrategias y preferencias de los contrarios (información completa).

La situación se modeliza como un juego en forma normal, es decir, cada jugador elige una sola vez la estrategia a seguir, sin posibilidad de revisar las decisiones en el futuro. En su trabajo original, Nash caracteriza y demuestra la existencia de equilibrio con estrategias mixtas, es decir estrategias definidas en términos de una distribución de probabilidad que expresa con qué valor de dicha probabilidad se tomará cada una de las alternativas entre las que puede elegir el jugador. El equilibrio Nash, en este contexto, es un vector de estrategias (una para cada jugador) para el cual se cumple que cada jugador maximiza su utilidad con respecto a la estrategia que le corresponde en el equilibrio, mientras el resto de jugadores elijan también la estrategia propuesta como

equilibrio. En otros términos, en el equilibrio Nash cada jugador encuentra óptimo desde sus intereses particulares elegir la estrategia que el equilibrio le asigna, siempre que el resto de jugadores elijan la suya. En el equilibrio ningún jugador tiene interés en cambiar su estrategia mientras los demás tampoco lo hagan.

A partir de la indeterminación que supone la interacción estratégica en un juego no cooperativo, tanto von Neumann Morgenstern como Nash buscan llevar a cabo predicciones “racionales” del comportamiento que puede esperarse de los jugadores en la situación modelizada. Ello será posible cuando jugadores individualmente racionales poseen información completa sobre la estructura y elementos del juego, de manera que puedan calcularse las estrategias óptimas de los demás para cada conjunto de expectativas. Si todos los jugadores esperan la misma solución de equilibrio, entonces no existen incentivos para que alguno de ellos se desvíe del mismo.

La formalización matemática que acompaña al concepto de equilibrio Nash no ha suscitado discusión alguna, pero el propio concepto de equilibrio levanta algunas reservas. Por ejemplo, resulta a primera vista poco intuitivo hablar de interacción estratégica cuando los jugadores deciden una sola vez y de forma simultánea. En realidad, lo que modeliza Nash no es un proceso real de acciones y reacciones entre los afectados por las interdependencias, sino un proceso mental de *razonamiento estratégico* entre los jugadores. Nash sugiere un modo razonable de modelizar el razonamiento interactivo circular que surge cuando elegimos entre alternativas tratando de anticipar mentalmente las elecciones de otros y conscientes de que los rivales saben que vamos a proceder de ese modo.

Un juego puede tener múltiples equilibrios Nash y para avanzar en la predicción de una solución para el mismo es necesario encontrar un procedimiento de elección entre todos ellos. La búsqueda de este procedimiento lleva a Nash a sentar los fundamentos de la moderna teoría de la negociación. Esta teoría busca soluciones a los juegos cooperativos, donde los acuerdos vinculantes son factibles, a través de formular un modelo no cooperativo para describir el proceso de negociación. Previamente, Nash había caracterizado la solución de un juego de negociación entre dos jugadores, a partir de enumerar un conjunto de axiomas a modo de propiedades deseables de dicha solución. Puesto que la solución axiomática no precisa el proceso de ofertas y contraofertas que la negociación promueve hasta llegar al resultado final, la solución axiomática solo tenía interés si los axiomas eran aceptados como los principios de “eficiencia y equidad” que deben inspirar la solución. Más recientemente Rubinstein (1982) ha establecido la relación formal entre procesos no cooperativos de negociación y la solución axiomática de Nash.

El equilibrio perfecto

El concepto de equilibrio perfecto o, más propiamente, equilibrio perfecto en los subjuegos, es atribuido a Selten en publicaciones realizadas a mediados de los años sesenta. A través de él se resuelven juegos que implican interacciones dinámicas entre los jugadores y en los cuales estos no pueden comprometerse de antemano en las estrategias que van a seguir. Puesto que Nash había formulado su concepto de equilibrio para juegos representados en forma normal o estratégica, sus resultados solo eran extensibles a los juegos representados en forma extensiva (donde se hace explícita la secuencia de acciones que van a tomar los jugadores) si los jugadores podían comprometerse de antemano en la secuencia de acciones a seguir, pues esta hipótesis está implícita en la formal normal. Selten demuestra también que la inviabilidad del compromiso implica que determinados equilibrios Nash pueden descartarse como soluciones “poco razonables”.

El siguiente ejemplo, propuesto por el propio Selten, ilustra estos puntos. Existen dos jugadores. El primero, 1, puede elegir entre derecha, d_1 , o izquierda, i_1 . Si elige derecha, d_1 , el juego finaliza y cada jugador recibe un pago de 2. Si elige izquierda i_1 , entonces juega el segundo jugador, 2, que puede elegir también entre derecha, d_2 o izquierda, i_2 . Si elige derecha, d_2 , cada jugador recibe un pago igual a 0, mientras que si elige izquierda, i_2 , el jugador 1 recibe 3 y el

Jugador 2

	d_2	i_2
d_1	(2,2)	(2,2)
i_1	(0,0)	(3,1)

Figura 1.a. - Representación del juego en forma normal

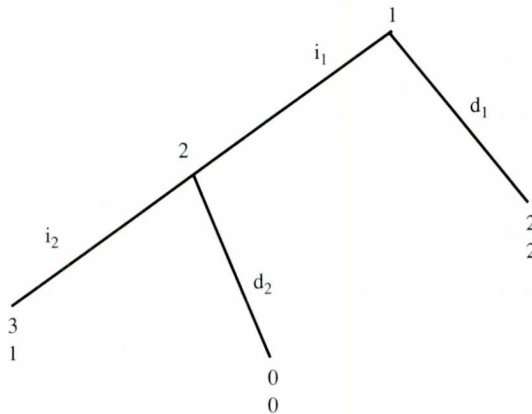


Figura 1.b. - Representación del juego en forma extensiva

jugador 2 recibe 1. La Figura 1.a. representa el juego en forma normal y la Figura 1.b. en forma extensiva.

La observación de la Figura 1.a. permite comprobar que existen dos equilibrios Nash en estrategias puras, (i_1, i_2) y (d_1, d_2) . Sin embargo, Selten señala que el segundo equilibrio exige que el jugador 2 pueda comprometerse antes de iniciar el juego a que va a elegir d_2 sea cual sea la decisión del primero; ante tal compromiso 1 elegiría d_1 , pues consigue un pago mayor (2 frente a 0). Pero si el compromiso no es factible, entonces una vez que el jugador 1 ha elegido i_1 , la mejor decisión de 2 es elegir también i_2 (pues obtiene un pago de 1 frente a 0); ante el hecho consumado de la elección i_1 , la amenaza de elegir d_2 no es creíble para un jugador racional y por tanto la solución óptima para 1 es precisamente elegir i_1 . Luego el único equilibrio “razonable” es (i_1, i_2) .

Selten generaliza estas ideas a través del equilibrio perfecto o equilibrio perfecto en los subjuegos. Este equilibrio exige que el comportamiento de los jugadores en cualquier parte del

juego que constituye a su vez un juego en sí mismo (subjuego), sea un equilibrio dentro del subjuego. De no ser así y existiese un subjuego para el cual la solución propuesta para el conjunto del juego no fuera un equilibrio, entonces al menos un jugador tendría incentivos a desviarse de aquella solución en el caso de que se alcanzara el subjuego. El cálculo de los equilibrios perfectos se realiza a través de un proceso de inducción hacia atrás, similar a la que se utiliza para resolver problemas de programación dinámica.

El equilibrio perfecto y la inducción hacia atrás están basados en la hipótesis de comportamiento racional por parte de los jugadores, es decir, la estrategia elegida por el jugador 1 está basada en el supuesto de que el jugador 2 elegirá la estrategia que resulte óptima para él y viceversa. Es obvio que la teoría sobre el comportamiento racional será más completa si permite la aparición de conductas irracionales, es decir, conductas diferentes a las previstas por la propia teoría.

A través del concepto de “equilibrio perfecto con mano temblorosa” (trembling hand), Selten incorpora cierta irracionalidad en la conducta de los jugadores (expresada en forma de pequeños errores en la elección de las acciones a seguir cuando se pone en práctica la solución de equilibrio) lo cual aumenta el valor de la teoría del comportamiento y al mismo tiempo permite reducir el conjunto de equilibrios perfectos aceptables para un determinado juego extensivo. Esta idea, juntamente con el equilibrio bayesiano desarrollado por Harsanyi y que comentamos en el siguiente apartado, inspira posteriormente los trabajos de Kreps y Wilson (1982). Estos autores sustituyen los errores por las “creencias” que cada jugador se va formando a lo largo del juego y sobre las que se sostiene el equilibrio propuesto. Las creencias se forman al modo “Bayesiano” de revisión de las probabilidades iniciales según las señales que transmita la propia dinámica del juego. Kreps y Wilson sintetizan sus aportaciones en el concepto de “equilibrio secuencial”.

El equilibrio bayesiano

La hipótesis de comportamiento racional no ha sido la más cuestionada entre los estudiosos de la teoría de juegos. En los trabajos pioneros de von Neumann y Morgenstern o de Luce y Raiffa (1957) el supuesto más discutido, por su falta de sintonía con la realidad, es el de información completa. Es decir, el supuesto según el cual cada jugador conoce con todo detalle las reglas del juego y las funciones de pagos del resto de jugadores. Aunque la necesidad de generalizar la teoría a situaciones de información incompleta se hizo patente muy pronto, hubo de esperarse a los años 1967 y 1968 con los trabajos de Harsanyi para encontrarle una solución satisfactoria.

Harsanyi trata el problema de la información incompleta utilizando una aproximación Bayesiana en la que toda la incertidumbre que rodea al juego debe hacerse explícita y cuantificarse. El juego de información incompleta se transforma en otro de información imperfecta. Para ello postula una clasificación de los jugadores por “tipos”, donde un tipo de jugador especifica toda la información que este jugador posee sobre el juego, incluida la distribución de probabilidad, subjetiva, sobre el conjunto de posibles tipos a que pertenecen el resto de jugadores. El equilibrio Bayesiano se formula en un contexto de decisiones simultáneas de todos los jugadores, lo cual impide que el jugador pueda reaccionar a las decisiones de los demás y/o inferir a que tipo pertenece a partir de las acciones puntuales que toma. Cuando se combina información incompleta y decisiones secuenciales, juegos dinámicos, surge el equilibrio Bayesiano perfecto, del que el equilibrio de la mano temblorosa y el equilibrio secuencial constituyen los ejemplos más conocidos.

Para caracterizar el equilibrio Bayesiano en un marco estático de decisiones simultáneas, Harsanyi supone que existe una distribución de probabilidad a priori de la que se extraen los tipos, distribución conocida por todos los jugadores. Una vez un jugador conoce el tipo a que pertenece puede hacer inferencias Bayesianas para establecer la probabilidad de que los demás pertenezcan a un determinado tipo, condicionada al tipo propio. El equilibrio Bayesiano es un conjunto de

estrategias contingentes con el tipo de cada jugador, tal que cada jugador hace máxima su utilidad esperada contingente al tipo a que pertenece y tomando como dadas las estrategias contingentes con su tipo, del resto de jugadores. El siguiente ejemplo extraído de Tirole (1988, pg.434) ilustra el cálculo de este equilibrio.

Considérese un mercado con dos empresas que producen y venden un producto homogéneo con demanda, $p = 2 - q_1 - q_2$ donde q_1 y q_2 son las producciones, decididas simultáneamente por cada una de las empresas. La empresa 1 desconoce el coste exacto con el que produce la 2, aunque sabe que este coste puede ser alto, $CA = 1.25$, o bajo $CB = 0.75$ con igual probabilidad. La empresa 2, sin embargo, sabe que el coste de la 1 es $C=1$, es decir posee información completa sobre esta empresa. Esto equivale a decir que el jugador 1 es de un único "tipo", , mientras que el jugador 2, desde la posición del 1 puede pertenecer a dos tipos, de coste alto, t_2^A y de coste bajo t_2^B .

El beneficio o pago de cada empresa B_i , $i=1,2$, queda definido en función del tipo t_i de cada jugador como

$$B_i = q_i ((2 - q_1 - q_2) - C_i) = q_i (t_i - q_1 - q_2)$$

donde t_i es la diferencia entre 2 y el coste unitario de la empresa i , $t_i = 2 - c_i$.

La empresa 2 elige la producción q_2 contingente a su tipo, t_2 , y a la producción de la empresa 1. Para ello obtiene q_2 que maximiza B_2 para t_2 y q_1 dados. Es fácil comprobar que la estrategia contingente al tipo del jugador 2 es $q_2(t_2) = (t_2 - q_1) / 2$.

Pero $q_2(t_2)$ es también función de q_1 , la elección estratégica de la otra empresa, resultado de la interacción que existe entre las decisiones de las dos empresas. Algo similar le ocurre al jugador 1 cuando debe elegir su producción q_1 , aunque con la incertidumbre adicional sobre el tipo a que pertenece el jugador 2. Esta incertidumbre la toma en consideración cuando elige q_1 maximizando el beneficio esperado contingente a $q_2(t_2)$,

$$\underset{q_1}{\text{maximizar}} \frac{1}{2} q_1 (1 - q_1 - q_2(t_2^A)) + \frac{1}{2} q_1 (1 - q_1 - q_2(t_2^B)).$$

La solución correspondiente es

$$q_1 = \frac{1}{2} - \frac{1}{4} q_2(t_2^A) + q_2(t_2^B) = \frac{1}{2} (1 - E [q_2(t_2)]),$$

donde E indica la esperanza.

$$\text{Ahora bien, } E [q_2(t_2)] = (E(t_2) - q_1) / 2 = (1 - q_1) / 2, \text{ con lo cual } q_1 = \frac{1}{2} \left(1 - \frac{(1 - q_1)}{2}\right)$$

implica un valor de equilibrio para $q_1 = 1/3$. Llevando este valor a $q_2(t_2) = (t_2 - q_1) / 2$ se obtienen los equilibrios correspondientes a cada tipo de jugador 2,

$$q_2(t_2^A) = (3/4 - 1/3) / 2 = 5/24 \text{ y } q_2(t_2^B) = (5/4 - 1/3) / 2 = 11/24$$

La contribución de Harsanyi es considerada por muchos como el fundamento de la moderna economía de la información , interesada por la eficiencia de los intercambios en presencia de información incompleta. A partir de ella se extraen, además, justificaciones más realistas del equilibrio de Nash formulado en términos de estrategias mixtas, de difícil interpretación: La es-

trategia mixta de un jugador puede contemplarse como una forma de representar la incertidumbre que poseen los jugadores rivales sobre lo que aquel jugador va a hacer realmente.

La aplicación de la teoría de los juegos al estudio de los mercados

El interés de la Economía por el estudio de la eficiencia de los mercados y el sistema de precios, en los procesos de asignación de recursos, ha tenido como modelo paradigmático la teoría del equilibrio formulada para mercados perfectamente competitivos. La competencia perfecta permite resultados robustos y concluyentes sobre las propiedades del resultado del proceso de asignación de recursos, pero a cambio exige el cumplimiento de unas hipótesis de información completa y ausencia de interdependencias (efectos externos), que raramente se cumplen en la realidad. Para que la ciencia económica avance en la generación de conocimientos útiles para la mejora de las decisiones de los agentes individuales y para la formulación de políticas que encaucen hacia mayor bienestar la acción colectiva, es necesario avanzar en sus fundamentos metodológicos de manera que en ellos tengan cabida situaciones donde está presente la información incompleta y las interdependencias.

Después de lo dicho en el apartado anterior no debe extrañar que la Economía haya encontrado en la teoría de juegos la base metodológica necesaria para ampliar su programa de investigación, de manera que tenga cabida dentro de él tanto la competencia perfecta como la competencia en condiciones imperfectas, derivadas de una insuficiente información y/o de un número pequeño de agentes que interactúan haciendo inevitable la situación de interdependencia.

La información incompleta en un proceso de intercambio surge cuando alguno de los agentes participantes en el mismo posee información privada y por tanto desconocida para los demás. Este desconocimiento puede afectar a características que determinan las preferencias del agente o a las acciones que se toman como parte del acuerdo. La Economía de la información y su estudio de los mercados con problemas de selección adversa y riesgo moral, hace de la información incompleta su campo de interés. En la mayoría de las situaciones analizadas el intercambio incluye un oferente y un demandante y no se contempla la interacción estratégica.

Los números pequeños aparecen en mercados donde las economías de escala son importantes en relación a la demanda y la tecnología exige unas inversiones en activos específicos que imponen barreras a la salida cuando los beneficios son insuficientes. La anticipación de que tales barreras existen y por tanto que puede incurrirse en pérdidas importantes, condiciona la decisión de entrada y el número de empresas que operan en el mercado es reducido. La estructura concentrada puede darse en el lado de la oferta, productores, en el de la demanda, clientes, o en ambos. El modelo más habitual de mercado, el oligopolio, contempla una situación donde un número reducido de productores tiene enfrente una gran cantidad de compradores cuyas preferencias se agregan en la función de demanda.

Sea cual sea el lugar en que se encuentran, los números pequeños crean interdependencias que serán de tipo horizontal cuando se produzcan entre agentes que están en un mismo lado del mercado (oferentes o demandantes) y de tipo vertical cuando impliquen a agentes situados en ambos lados. La interacción estratégica que emerge en estas situaciones puede darse en condiciones de información perfecta o imperfecta. Por ejemplo cuando una empresa desconoce los costes con los que produce la empresa rival o desconoce el grado de racionalidad con el que actúan los competidores con los que se disputa el mercado.

No resulta difícil imaginar que la interdependencia da lugar a indeterminación sobre los restos que finalmente se alcanzarán en el mercado, en tanto en cuanto las respuestas a la interdependencia pueden ser numerosas para cada empresa. Además, cualquier posibilidad de avance en la comprensión del problema y su solución requerirá una atención minuciosa a la conducta de los agentes. De ahí que el estudio del funcionamiento de los mercados no pueda desligarse del estudio de la conducta de las empresas. La teoría de juegos, cuando se aplica al estudio de los merca-

dos con interdependencias, i) proporciona el concepto de equilibrio como una solución que permite hacer predicciones; ii) permite analizar la robustez de la solución propuesta a diferentes supuestos sobre el desarrollo del juego y la conducta de los agentes; iii) permite una representación detallada y rigurosa de la conducta (racionalidad) de los agentes, principalmente empresas que operan en el mercado. Ante tales aportaciones la teoría de juegos ha sido considerada como una *teoría de la estrategia empresarial*, Shapiro (1989a), si bien otros discrepan de que la aportación haya sido tan significativa, Fisher (1989).

Ilustraciones de la aplicación de los equilibrios de la teoría de juegos al estudio de los mercados

Las referencias sobre aplicaciones de la teoría de juegos al estudio de los mercados son muy extensas (ver Shapiro (1989b)). En lugar de realizar una enumeración de cada una de ellas, que sería necesariamente suscita por razones de espacio, mostraremos una ilustración que permita analizar las condiciones de aplicación y resultados de los tres equilibrios expuestos.

Considérese el problema propuesto por Cournot, tan pronto como 1838, para ilustrar el problema de la interdependencia entre empresas en un mercado. Dos empresas producen y venden agua embotellada con costes variables unitarios iguales a cero. Los consumidores no distinguen entre el agua de una empresa y otra, lo cual significa que estas empresas se enfrentan a una sola función de demanda que suponemos igual a $Q = 1 - p$, donde Q es la cantidad total, $Q = q_1 + q_2$ y p es el precio.

El beneficio de la empresa i será $B_i = pq_i = (1 - q_1 - q_2) q_i$, $i = 1, 2$.

El beneficio de cada empresa depende de una variable de decisión que ella controla, q_i , y de una variable que no controla, la cantidad que produce la otra empresa. Existe una clara situación de interdependencia entre las empresas en la medida en que con sus decisiones influyen tanto en su propio beneficio como en el del rival. La interdependencia lleva consigo una indeterminación del resultado, pues cada empresa no sabe qué cantidad producir para maximizar el beneficio hasta que no conoce la producción de la otra.

Cournot propuso una solución a este problema en la cual cada empresa resuelve simultáneamente el problema de maximización de su beneficio considerando como dada la producción de la otra empresa (nótese que en mercados competitivos las empresas consideran dado el precio, es decir la producción total). Esto permite derivar dos ecuaciones con dos incógnitas de cuya resolución se obtiene la solución buscada.

$$\frac{\partial B_1}{\partial q_1} = 0 = 1 - 2q_1 - q_2; \quad \frac{\partial B_2}{\partial q_2} = 0 = 1 - q_1 - 2q_2$$

de donde $q_1^c = q_2^c = 1/3$. y $B_1^c = B_2^c = 1/9$. En la solución de Cournot cada empresa produce $1/3$ y obtiene un beneficio positivo de $1/9$.

La solución de Cournot fue discutida con posterioridad desde diferentes ángulos. Bertrand, en 1883, sugiere que las decisiones de las empresas no deben restringirse a cantidades y debe permitirse también que compitan en precios. Si se hace así en el ejemplo de las embotelladoras se obtiene un resultado distinto, pues las empresas fijan un precio igual a su coste marginal (cero) y por tanto su nivel de beneficios será cero. Chamberlin, en 1933, cuestiona tanto a Bertrand como a Cournot y propone como solución la «maximización conjunta» de los beneficios totales entre las dos empresas. El resultado coincide ahora con la solución de monopolio ($q_1^M = q_2^M = 1/4$, $B_1^M = B_2^M = 1/8$). Stackelberg, en 1934, pone en duda la hipótesis de decisión simultánea implícita en la solución de Cournot y la sustituye por otra de decisión secuencial, con una empresa (el líder) que decide primero y la otra que decide después (seguidor) cuando ya conoce la producción de la otra. La solución de Stackelberg es $q_1^S = 1/2$, $q_2^S = 1/4$, $B_1^S = 1/8$, $B_2^S = 1/16$, suponiendo que la

empresa 1 actúa como líder. Fellner (1949) revisa la literatura sobre el tema prestando especial atención a aquellos aspectos que influyen en los incentivos a desviarse de la solución de maximización conjunta.

Cuando a principios de los cincuenta se publican los trabajos de Nash sobre juegos no cooperativos, la teoría del oligopolio contemplaba una gran cantidad de resultados posibles, que dependían tanto del contexto como de las variables de decisión utilizadas por las empresas. Especial interés atraía la solución de maximización conjunta y su viabilidad, con resultados de nuevo altamente dependientes de cómo se desarrolla la relación entre los jugadores. Veamos, brevemente, cuál ha sido la aportación de la teoría de los juegos al estudio del oligopolio.

El equilibrio de Nash pertenece a juegos estáticos donde los agentes eligen de una vez y de forma simultánea la estrategia a seguir. El planteamiento del modelo del oligopolio que hacen Cournot y Chamberlin permite caracterizar el problema como un juego no cooperativo y aplicar la solución de equilibrio Nash. El resultado es bien conocido, la solución propuesta por Cournot, Bertrand constituyen soluciones de equilibrio Nash en el juego respectivo, mientras que la solución de Chamberlin, la maximización conjunta, no constituye un equilibrio Nash, al menos cuando el juego no cooperativo se juega una sola vez. Si el juego se repite ilimitadamente o durante un tiempo limitado pero con incertidumbre sobre el momento en que va a terminarse, entonces la maximización conjunta puede ser uno de los equilibrios Nash.

Supóngase que cada jugador, empresa, anuncia la siguiente estrategia: «Mantendré la producción que permite sostener la solución de maximización conjunta mientras la otra empresa también lo haga, pero en el momento en que la otra se desvíe de esa solución entonces bajaré el precio hasta el coste marginal indefinidamente». Enunciadas estas estrategias, si una empresa baja ligeramente el precio por debajo del que corresponde a la maximización conjunta se llevará, durante un período, toda la demanda y obtendrá un beneficio próximo al de monopolio, igual a $1/4$. Durante el resto de períodos, sin embargo, su beneficio será cero. En cambio, si se mantiene en la solución pactada con la otra empresa su beneficio será de $1/8$ indefinidamente: es decir obtiene una renta en valor presente, al tipo de interés r , de $1/8r$. La empresa renunciará a desviarse mientras $1/8r$. La empresa renunciará a desviarse mientras r sea menor o igual al 50 por cien. Por lo tanto la colusión se mantiene como solución de equilibrio mientras r no sea demasiado elevado, aunque en general el límite superior de r para que las empresas no tengan interés en desviarse se hace menor según aumenta el número de empresas. En otros términos, el número de empresas influye negativamente en la viabilidad de la colusión.

La teoría de juegos y el equilibrio Nash contribuye a clarificar el debate clásico sobre la teoría del oligopolio. Primero, permite distinguir entre la clase de soluciones que se proponen y los instrumentos en que se apoyan. Las soluciones de Cournot y Bertrand forman parte de una clase de soluciones que satisfacen la propiedad de ser equilibrios Nash de un juego no cooperativo, a pesar de que cada una establece una variable competitiva diferente para las empresas; como tales no son comparables con la solución de Chamberlin en tanto en cuanto esta no pertenece a la misma clase. Segundo, saber que una solución forma parte del equilibrio Nash significa que satisface las propiedades del razonamiento interactivo que el propio Nash modeliza. Ello la distingue de otro tipo de razonamientos denominados genéricamente como variaciones conjeturales difícilmente interpretables en el marco de unas decisiones simultáneas. Tercero, si existe comunicación y coordinación previa entre las empresas, los únicos acuerdos que las empresas tendrán interés en cumplir voluntariamente son los que cumplan la propiedad de formar parte del equilibrio Nash. Es decir, diferenciar entre acuerdos autovinculantes y aquellos que no lo son. Cuarto, pero no menos importante, la teoría de juegos aporta un lenguaje y un marco metodológico unificado que facilita la comunicación entre los investigadores y con ello el progreso del conocimiento.

La solución propuesta por Stackelberg no puede analizarse a través del equilibrio Nash porque implica decisiones secuenciales y la teoría nos dice que en esos casos debemos tener en cuenta la capacidad de compromiso de los agentes. El equilibrio perfecto es ahora el concepto

adecuado. La solución de líder-seguidor de Stackelberg supone que la empresa que decide en segundo lugar acepta como dada la decisión de la primera; en otros términos en ella está implícita la hipótesis de que el líder es capaz de comprometerse con la decisión que adopta. ¿Qué ocurre cuando ese compromiso no es posible? ¿Por qué se compromete con una producción de $1/2$ en lugar de con otra distinta? ¿Cuál es la variable más idónea para asumir compromisos?

Cuando el compromiso no existe, entonces la amenaza del líder de que mantendrá $1/2$, haga lo que haga el seguidor, no es creíble. Ante el hecho consumado de que el seguidor produzca, por ejemplo, $1/3$, es óptimo para el líder producir también $1/3$, llegándose así a la solución propuesta por Cournot. La solución de Stackelberg es un equilibrio perfecto si existe capacidad de compromiso y por tanto la solución está condicionada a algo distinto del carácter secuencial o simultáneo de las acciones.

La empresa con posibilidad de decidir primero (ventaja atribuible a las pioneras) puede optar por una decisión de producción que bloquee la entrada en el mercado de la seguidora. Tal opción sería planteable si la actividad productiva llevara consigo el desembolso de un coste no recuperable con el cierre de la actividad y salida del mercado. El pionero podría comprometerse con una cantidad de producción tal que la demanda residual a que puede acceder el seguidor no genera suficientes ingresos como para recuperar el coste que acarrea la entrada. Bajo ciertas condiciones los beneficios de la empresa que decide primero son elevados cuando bloquea la entrada que cuando actúa como líder.

Una variante de la estrategia de bloquear la entrada contempla el supuesto de una alternativa para la empresa que consiste en anunciar una guerra de precios si el entrante potencial decide establecerse en el mercado. Dado que, ante el hecho consumado de la entrada la empresa establecida obtiene más beneficio renunciando a esa guerra y acomodándose a la nueva situación, la amenaza de guerra no es creíble cuando no va acompañada de actuaciones complementarias en las que se hace visible el compromiso a llevarla adelante (instalando y manteniendo exceso de capacidad, por ejemplo). Selten, que analiza esta situación, se pregunta si el resultado cambiaría cuando la empresa pionera sabe que la situación de amenaza de entrada se va a repetir varias veces en el futuro (una cadena comercial que contempla la entrada de competidores secuencialmente en varias ciudades en las que está ya establecida). La conclusión a que llega es que la solución de una respuesta acomodaticia en todos y cada uno de los mercados es de nuevo el equilibrio perfecto del juego. El proceso de resolución por inducción hacia atrás ayuda a entender este resultado pues, ante el último entrante, el juego corresponde a una situación donde sólo se juega una vez y por lo tanto sabemos que la decisión será acomodar al entrante. Desvelada la decisión en la última jugada, lo que ocurre en ella no puede condicionar la solución de la penúltima que, de nuevo, se resuelve como si se jugara una sola vez. Siguiendo la secuencia llegamos a un resultado similar hasta la primera de las decisiones. El equilibrio perfecto es acomodar al entrante en cada mercado.

Para que algunos equilibrios Nash sean equilibrios perfectos es necesario que las empresas asuman ciertos compromisos lo cual implica a su vez hacer irreversibles sus decisiones. Esto supone asumir un coste directo o indirecto (pérdida de flexibilidad) y por tanto es razonable esperar que las empresas busquen capacidad de compromiso de diversas formas. En la literatura económica encontramos así aplicaciones del equilibrio perfecto en situaciones donde las empresas asumen compromisos a través de *contratos* con sus directivos, sus distribuidores, sus fuentes de financiación; a través de *inversiones* tanto en activos físicos como inmateriales (tecnología, experiencia, publicidad); o, indirectamente, a través de las *políticas industriales* de tarifas arancelarias, ayudas a la I+D, etc., que aplican los gobiernos de los países que las acogen (políticas comerciales estratégicas).

El equilibrio perfecto permite analizar juegos no cooperativos que impliquen decisiones secuenciales, como los que resultan de la rivalidad entre empresas establecidas en un mercado y las que desean entrar en él, y donde los agentes poseen información completa. Las conclusiones

generales de la aplicación del equilibrio perfecto al estudio de la competencia entre pioneros y seguidores, establecen la dificultad que posee el pionero para obtener ventajas de su situación cuando no incurre en costes, a menudo elevados, que le permiten adquirir una capacidad de compromiso. En particular, la racionalidad de ciertas prácticas depredadoras y/o de la elevación de barreras que crean una competencia desigual entre empresas, y que por ello se denuncian a los tribunales encargados de la defensa de la competencia, es difícilmente asumible cuando se analizan bajo el prisma del equilibrio perfecto.

La conclusión cambia cuando el equilibrio perfecto se sustituye por el equilibrio secuencial o el equilibrio de la mano temblorosa, es decir se introduce falta de información o se permite cierta conducta irracional, expresada en forma de errores de decisión, entre los jugadores. Aunque las aplicaciones de estos equilibrios se encuentran todavía en una fase incipiente, existen resultados donde la práctica de acciones depredadoras (reducir precios por debajo de los costes) o de acciones tendentes a crear barreras a la entrada, resultan ser conductas racionales sin necesidad de incurrir en los costes del compromiso, Milgrom y Roberts (1982a y b). De ahí la importancia que se le atribuye a la hipótesis de información completa o incompleta en el estudio de la competencia en los mercados, pues según cual sea la situación en que nos encontremos la viabilidad de prácticas restrictivas de la competencia será menor o mayor.

Conclusiones

Ariel Rubinstein (1995) escribe que con el Premio Nobel de economía concedido a John Nash, se ha deseado premiar, y promover, un determinado estilo de modelización económica. El estilo premiado no se caracteriza por la proximidad entre el modelo con la realidad física; se aboga por modelos que sin renunciar a la sencillez, incorporen los aspectos esenciales de la situación que se modeliza; que sean fieles a cómo las personas razonan sobre una determinada situación; y que transmitan belleza, en el fondo y la forma, a quienes lo lean y estudien.

Lo que Rubinstein sugiere es que la teoría de juegos es un método para formular, analizar y resolver problemas donde esté presente de algún modo la interacción estratégica y, por lo tanto, el Premio Nobel se ha concedido este año más a una forma de hacer Economía, que a una contribución al conocimiento de un problema sustantivo concreto.

La impregnación de los estudios sobre competencia imperfecta, dentro de la denominada Economía Industrial, de los conceptos de equilibrio desarrollados en la teoría de juegos, sugiere que esta forma de hacer Economía ha adquirido una difusión muy importante. ¿Cuál ha sido su verdadera aportación al estudio de los mercados, comparada con la aportación que han hecho otras formas distintas de analizar los problemas económicos? La respuesta no es fácil de objetivar, pues está influida por el método de hacer Economía que utilice quien da la respuesta.

Lo que sí está claro a nuestro juicio, es que la teoría de juegos ha proporcionado un lenguaje formal para abordar con precisión el complejo mundo de la interacción estratégica; ha acotado el espacio de soluciones razonables aportando criterios para discernir entre conductas racionales e irracionales; y en definitiva, ha permitido un tratamiento riguroso de problemas reales que no encontraban su sitio en la Economía de los grandes números. En dichos problemas, la *conducta* de los agentes, su estrategia, adquiere un protagonismo superior al de las características estructurales del mercado, y ese protagonismo le hace merecedor de una minuciosa descripción.

La diversidad y riqueza de decisiones a que se enfrenta la empresa en las economías modernas requiere, para ser estudiada en un marco de rivalidad y competencia, de una metodología poderosa. La teoría de juegos, en cuanto modeliza con precisión la conducta de las empresas, debe contribuir a avanzar en la comprensión de la complejidad que envuelve a la empresa en la sociedad actual. Alejados por tanto de la empresa representativa Marshalliana, la agregación de las acciones de las empresas individuales para obtener resultados colectivos es cada vez más difícil de realizar. Pero la necesidad de avanzar en la solución de este problema es obvia, si

tenemos en cuenta que una política macroeconómica será más o menos adecuada o eficaz según que se ajuste o no a las características de las unidades microeconómicas afectadas. Para progresar en la formulación de políticas económicas eficaces no es suficiente con disponer de mejores modelos para representar a las empresas y los mercados; se requiere también disponer de un mecanismo que agregue los resultados individuales y obtenga las magnitudes macroeconómicas. Sólo cuando esto se haya conseguido, la teoría de juegos contribuirá a mejorar las políticas económicas, como lo ha hecho en la comprensión del funcionamiento de los mercados.

La teoría de juegos no sólo ha penetrado en la Economía sino que lo ha hecho también con notable difusión en la ciencia política y sociológica, disciplinas donde la interacción estratégica está presente en muchas situaciones de su interés. Este hecho abre las puertas a la posibilidad de que, a través de la teoría de juegos termine por desarrollarse una metodología común para el conjunto de las ciencias sociales.

Notas bibliográficas

Lecturas recomendadas sobre juegos no cooperativos:

- FUNDENBERG, D., J. TIROLE, *Game Theory*, MIT Press, Cambridge, MA, 1991.
KREPS, D., *Game Theory and Economic Modelling*, Oxford University Press, Oxford, 1990.
SCHELLING, Th., *The Strategy of Conflict*, Oxford University Press, N.Y., 1960.
VAN DAMME, E., J. WEIBULL, «Equilibrium in Strategic Interaction: The Contribution of J. Harsanyi, J. Nash and R. Selten», *Scandinavian Journal of Economics*, 1995, pp. 15-40.

La lista de obras publicadas por los premiados aparece en el N° 1 de 1995 de la Revista *Scandinavian Journal of Economics*, pp. 41-51.

Obras citadas en este texto:

- FELLNER, W., *Competition Among the Few*, Alfred Knopf, N° 1, 1949.
FISHER, F., «Games Economist Play: A non Cooperative View», *RAND Journal of Economics*, Vol. 20, n° 1, Primavera, 1989.
KREPS, D., R. WILSON, «Sequential Equilibria», *Econometrica*, 50, 1982.
KREPS, D., P. MILGROM, J. ROBERTS, R. WILSON, «Rational Cooperation in the Finality Repeated Prisoner's Dilemma», *Journal of Economic Theory*, 27, 1982.
LUCE, R., H. RAIFFA, *Games and Decisions*, Wiley. N.Y., 1957.
MILGROM, P., J. ROBERTS, «Limit Pricing and Entry under Incomplete Information: An Equilibrium Analysis», *Econometrica*, 50, 1982.
MILGROM, P., J. ROBERTS, «Predation, Regulation and Entry Deterrence», *Journal of Economic Theory*, 27, 1982.
RUBINSTEIN, A., «Perfect Equilibrium in a Bargaining Model», *Econometrica*, 50, 1982.
RUBINSTEIN, A., «John Nash: The Master of Economic Modeling», *Scandinavian Journal of Economics*, 97, 1995.
SHAPIRO, C., «The Theory of Business Strategy», *RAND Journal of Economics*, 20, Primavera, 1989a.
SHAPIRO, C., «Theories of Oligopoly Behavior», en R. Schmalenses, R. Willig, eds., *Handbook of Industrial Organization*, N.Y., 1989b.
TIROLE, J., *The Theory of Industrial Organization*, MIT Press, Cambridge, 1988.