

# Sistemas expertos estratégicos en economía

Luis Alberto Castillo Manzur

¿Cuán importante es para un economista la teoría de juegos (TJ)? - Como parte de la economía matemática la teoría de juegos se podría considerar, sin lugar a dudas, un muy importante instrumento de análisis que nos permite no solo lidiar con cierto tipo de incertidumbre sino también corroborar la consistencia de modelos económicos. Tal vez una recapitulación de la historia sería conveniente para enmarcarnos mejor en el desarrollo actual de la TJ y darnos una idea de su importancia dentro de la ciencia económica en el futuro.

## Un poco de historia

La TJ nace formalmente<sup>(1)</sup> en 1944 con la obra de Jhon Von Newman y Oskar Morgenstern intitulada *The Theory of Games and Economic Behavior*. En esta importante obra se plantea la resolución de juegos aplicados a la economía. Von Newman y Morgenstern investigaron dos planteamientos de la TJ, los juegos de planteamiento estratégico o no cooperativo, también conocidos como juegos de suma cero; y los juegos de planteamiento coalicional o cooperativo. A principios de los años 50 el matemático Jhon Nash, eliminó la restricción de suma cero dando origen a lo que actualmente se conoce como "equilibrio de Nash", uno de los más importantes instrumentos de que se dispone dentro de la TJ. El conocido economista Robert Lucas sostiene que una de las más importantes contribuciones a la macroeconomía desde Keynes ha sido el resultado de formular los problemas como juegos.

A lo largo del tiempo la TJ ha encontrado numerosos adeptos que han hecho valiosas contribuciones a su desarrollo teórico, nombres como Aumann, Shapley, Selten y Harsanyi por ejemplo. Dentro del campo estrictamente económico podemos percibir la relevante importancia que tiene la TJ con la otorgación en 1994 del Premio Nobel en economía a los profesores John F. Nash, John C. Harsanyi y Reinhard Selten por su contribución al análisis del equilibrio en la TJ no cooperativos. Dos años después, en 1996, se otorga el premio Nobel a James A. Mirrlees

y William Vickrey por su trabajo referido a incentivos bajo información asimétrica (cabe destacar que información asimétrica es una rama particular de estudio de la teoría de juegos). También tenemos trabajos de reciente data como por ejemplo el realizado por Barry J. Nalebuff y Adam M. Bandenburger sobre aplicaciones de teoría de juegos cooperativos.

## Evolución de la TJ en economía

Desde la publicación de "Teoría de Juegos y Comportamiento Económico" de Morgenstern y Von Neumann, ha habido un gran desarrollo de la TJ dentro del campo de la economía. Podemos comenzar citando los trabajos relativos a oligopolios y entre los más importantes tenemos a: Stakelberg (1934), Fellner (1949) "Desarrollo de una teoría depende más de la descripción verbal que de modelos completamente formales"; Brems (1951) "introduce un cambio tecnológico"; Bain (1956) "considera las partidas"; Baumol (1959), Shubik (1961), Marris (1964) "estructura administrativa"; Levitan y Shubik (1971) "inventarios"; Sweezy (1939), Stigler (1947, 1964) "curva retorcida del oligopolio"; Shubik (1959) "demanda contingente"; Shubik (1973) "sensibilidad de un mercado oligopólico por cambios en la información"; Shubik (1959), Selten (1973), Marschak y Selten (1974) "estrategias históricas"; Shapley y Shubik (1972) "determinación del núcleo y el precio en un mercado con indivisibilidades"; Groves, Ledyard (1977), Smith (1978) "sistemas de autoregulación". Modelos matemáticos de subastas y ofertas: Lavalley (1967) "la competencia se modela suponiendo un mercado bayesiano"; Friedman (1956), Vickrey (1961), Griesmer, Shubik (1963) Levitan (1967) Wilson (1967), Amihud (1976) "equilibrio no cooperativo". Modelos de equilibrio general: Aumann, Peleg (1960) "teoría de solución de pagos no laterales"; Schmeidler (1967) "único punto donde se minimiza la máxima insatisfacción de cualquier coalición- el nucleolo en el kernel";

Klevorick, Kramel (1973), Aumann, Kurz (1977), "Enfoques teóricos de juegos de bienes

públicos e impuestos"; Shapley, Shubik (1966), Shubik (1971) Shapley, Scarf (1974) "consumo individual"; Buchanan, Tullock (1962), Davis, Whinston (1965), Zeckhauser (1973) "enfoque teórico de juegos en bienes públicos y economía de bienes"; Brams, Schotter, Schwodiauer (1979), Schleicher (1979) "impuestos de precio global, subsidios y compensaciones"; Foley (1970), Hahn (1971), Starr (1974), Shubik (1972, 1978), Shapley (1976), Postlewaite, Schmeidler (1978) "modelos no estratégicos de equilibrio general del sistema de precios - modelos estáticos". Grandmont (1977), "investigación sobre la dinámica de precios"; Shubik (1976), Shubik, Wilson (1977) "modelos de juegos no cooperativos, explícitamente estratégicos de economías de comercio y producción que utilizan un bien o dinero fiduciario"; Shubik (1971), Borch (1968, 1979) "aspectos teóricos de juegos de seguros"; Nyblen (1951), Faxen (1957), Munier (1972) "problemas macroeconómicos y de comercio internacional".

Resultado del desarrollo de la TJ y las computadoras tenemos los siguientes trabajos: Primeramente tenemos los trabajos en forma experimental sin el uso de computadoras: Chamberlain (1948) "primer artículo sobre un experimento de juegos económicos informales"; Siegel, Fouraker (1960, 1963), Siegel, Shubik, Fouraker (1961) "monopolio bilateral bajo diversas condiciones de información, duopolio y triopolio"; Stern (1966), Dolbear (1968) J.W. Friedland (1967, 1969) "efecto de la simetría y falta de simetría en el duopolio"; V.L. Smith (1965, 1967) "efecto de la organización de mercados". Todos los trabajos citados anteriormente se presentaban en forma de matrices o diagramas. El primer juego usando computadoras fue desarrollado por Bellman (1957) "juego de negocios con propósitos de capacitación", a este trabajo siguieron muchos otros como ser: Hogatt (1959, 1967), McKenney (1962), Shubik, Wolf, Lockhart (1971), Shubik, Wolf, Eisenberg (1972), Shubik, Riese (1972), Friedman, Hoggatt (1979). Estos juegos ofrecen ventajas en términos de control y facilidad de procesamiento de datos sobre los juegos no computarizados<sup>(2)</sup>.

## Una breve descripción de la TJ

La TJ tiene por objeto estudiar el comportamiento estratégico de un pequeño número de agentes que interactúan, que son racionales y que desean maximizar su utilidad, u obviamente minimizar sus costos o pérdidas. Otra importante función de la TJ es la de transformar un modelo económico en un juego económico, de esta forma la consistencia del modelo es probada y en muchos casos el modelo es criticado y destruido, por cuanto salen a relucir las insuficiencias teóricas y conceptuales del mismo.

La importancia de la TJ está en que al describir en forma precisa las situaciones estratégicas, también permite distinguir los factores fundamentales de los secundarios, y la forma en que los factores fundamentales afectan la solución económica. La TJ en sus orígenes era matemática aplicada, se parece bastante al cálculo diferencial y de hecho utiliza el cálculo como parte del proceso de resolución de un juego. En el presente la TJ es una forma de razonamiento dominante en el mundo de la empresa y la economía.

Las situaciones que pueden suceder entre los "jugadores" (en nuestro caso cualquier agente económico) pueden ser de dos clases: interacciones competitivas y cooperativas. Por lo general, la interacción que existe entre las Empresas que ocupan un mismo mercado es competitiva. Por ejemplo, en el caso de dos empresas que compiten por un mercado y la otra que pretende entrar al mismo. Como la primera ya está establecida en el mercado la segunda tiene dos alternativas, entrar o permanecer fuera. Si decide entrar la firma establecida puede coludirse o hacer una guerra de precios a la empresa entrante. Este es un caso de interacciones competitivas. Supongamos ahora que las dos empresas producen bienes que son sustitutos perfectos a un costo marginal constante, la firma con el precio más bajo se queda con el mercado y se lo dividen si ambas tienen el mismo precio; las firmas maximizan el valor descontado de los beneficios. Con este planteamiento para las firmas es mejor una estrategia cooperativa.

Campos de interés económico como Negociación, subastas, fijación de precios, ingreso, organización y planificación, pueden ser estudiados utilizando TJ.

## Tratar con incertidumbre

Prácticamente todos los modelos de juegos involucran cierta clase de incertidumbre, ocasionada por la ignorancia de los que otros

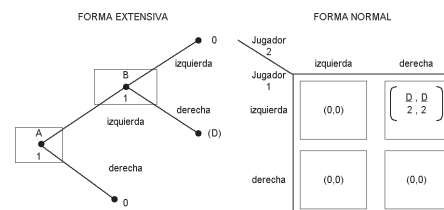
jugadores harán, ésta tiene el nombre de incertidumbre estratégica. Algunas de ellas también permiten movimientos aleatorios, ya sea por parte de los jugadores o de la Naturaleza, insertando así el factor "riesgo" (incertidumbre con probabilidades conocidas)<sup>(3)</sup>.

Un juego se desarrolla en condiciones de información incompleta si los jugadores tienen incertidumbre sobre la verdadera situación en la que se encuentran, es decir, hay presencia de elementos aleatorios. Se podría decir que un juego tiene "información asimétrica" si un jugador conoce más que el otro, en estos casos hay tres tipologías de problemas claramente identificadas: de Riesgo Moral, de Selección Adversa y de Señalización.

Una situación de riesgo moral se presenta cuando la acción del jugador no es verificable o cuando el jugador recibe información exclusiva una vez iniciada la relación. Una situación de selección adversa se presenta cuando el jugador dispone de información exclusiva antes del inicio de la relación. Por último, los casos de señalización son similares a los casos de selección adversa; aquí el jugador 2 toma alguna decisión que influye en la creencia que el jugador 1 tiene sobre su estrategia, antes de iniciada la relación.

## Formas de modelar un juego

Existen dos formas fundamentales de representar un juego: La forma Extensiva y la forma normal:



La forma extensiva se utiliza cuando la situación temporal es importante, es decir, cuando el resultado del juego depende de quien juega antes y quien juega después, es la forma más completa de analizar un juego pero también la más compleja de analizar y modelar. La forma normal reduce el juego a una situación donde todas las decisiones se toman de una sola vez, sin que la dimensión temporal tenga cabida. La desventaja es que muchos juegos tienen múltiples soluciones y no todas son razonables.

## Un ejemplo de TJ aplicado a economía

En los años 60 las grandes compañías

tabacaleras en Estados Unidos gastaban grandes cantidades de dinero en publicidad por televisión, en 1964 las autoridades sanitarias emitieron la primera advertencia de que fumar podía resultar perjudicial para la salud. Las compañías fabricantes de cigarrillos eran reacias a incluir el mensaje de advertencia por cuanto temían que el mismo abriría las puertas a incontables pleitos por responsabilidad civil. En 1970 las Compañías tabacaleras y el gobierno llegaron al siguiente acuerdo: Las compañías debían dejar de hacer publicidad por televisión e incluir el anuncio de advertencia a cambio de inmunidad legal. El acuerdo entro en vigencia en 1971. Si analizamos la situación de las cuatro más importantes empresas tabacaleras de ese entonces (American Brand, Reynolds, Philip Morris y Liggett & Myers), nos encontramos que cuando todas ellas hacen propaganda al

mismo tiempo, sus beneficios que podrían ser de 50 millones se reducen tan solo a 27 millones, la razón es que la publicidad de una tiende a anular a la otra, dejando las ventas más o menos igual pero a un coste mucho más alto, sin embargo una sola empresa no podría dejar de hacer publicidad por televisión mientras las otras lo sigan haciendo, por cuanto sus utilidades se verían mucho más afectadas y las de las otras compañías favorecidas. A este fenómeno se le llama el dilema del prisionero, las empresas están presas de sus propias estrategias, a no ser que algo cambie el juego; El gobierno de Estados Unidos fue ese algo, por cuanto como todas las empresas renunciaron a hacer publicidad por televisión redujeron sus gastos en publicidad por televisión en 63 millones, al mismo tiempo que sus beneficios aumentaron, como una agradable sorpresa suya, en 91 millones<sup>(4)</sup>.

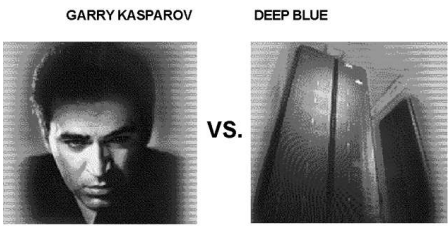
## La TJ y la Inteligencia Artificial

La idea de que las máquinas pudiesen jugar ha existido aun antes de que las computadoras mismas existieran. Charles Babbage pensó en programar su máquina analítica para que jugara ajedrez y luego penso en construir una máquina para jugar tres en raya. En la actualidad técnicas de búsqueda heurística propias de la TJ son ampliamente usadas para resolver problemas de juegos. Las investigaciones acerca de ajedrez por computadora forman parte de la Inteligencia Artificial. Claude Shannon, en 1950, fue el primero en proponer un método para automatizar el juego; es interesante hacer notar que solo pasaron 6 años desde que se presentará formalmente la TJ. El ajedrez funciona como un laboratorio bien definido entre conocimiento y búsqueda, conforme un

programa tiene más conocimiento menos búsqueda necesita hacer y viceversa. Los jugadores de ajedrez humanos utilizan mucho conocimiento y poca búsqueda, mientras que una computadora hace exactamente lo contrario, puede evaluar millones de ramificaciones para una sola movida<sup>(5)</sup>.

## Un claro ejemplo de su potencial

Deep Blue es la más poderosa computadora para jugar ajedrez jamás antes desarrollada, es capaz de generar 200 millones de posiciones por segundo cuando busca una movida óptima. De hecho, el sistema calcula 60 billones de movidas en tres minutos.



Decir que el Deep Blue no piensa es como decir que los aviones, en realidad, no vuelan porque no agitan las alas.  
Prof. Drew Mc Dermott, Universidad de Yale

La tecnología usada en el Deep Blue también puede ser utilizada para resolver problemas propios de economía, por ejemplo para modelar datos financieros<sup>(6)</sup>.

## ¿Qué es un Sistema Experto (SE)?

Es un sistema informático destinado a la solución de problemas complejos, cuya única otra alternativa de solución sería la aplicación del conocimiento, la experiencia, la destreza intelectual y la intuición de un ser humano. Sin embargo no hay nada como un buen ejemplo para darnos una idea concreta de lo que es un SE. Cuando se requiere un mecánico de automóviles se busca obviamente al "mejor", esto implica que el mecánico de nuestra elección no necesita desarmar todo el auto para revisar parte por parte (forma de búsqueda exhaustiva) y detectar así que es lo que está fallando; un buen mecánico es alguien que tiene la suficiente experiencia y conocimiento como para poder guiarse por pequeños indicios (infiriendo en el resultado), como un determinado tipo de ruido, goteo de aceite o dificultad en el arranque. Estos indicios que para un neófito no significan nada, para el mecánico son datos utilizables que le llevan a detectar el problema de una forma rápida y eficiente, es decir, con el consiguiente ahorro de esfuerzo y dinero. Un SE es capaz de adquirir el conocimiento de nuestro mecánico y luego

usarlo independientemente de éste, pudiendo razonar de la misma manera que su fuente humana.

## Breve descripción de los componentes de un SE

Un SE está compuesto principalmente por tres componentes: a) Base de Conocimientos: Su característica es estar compuesto por Reglas de Producción o Reglas de Conocimiento. Estás reglas son proposiciones lógicas de la forma: <SI> - <condición> - <ENTONCES> - <acción>. b) Base de Datos: Contiene la información referente al área de trabajo. c) Un motor de inferencia: Determina que datos se requiere para resolver el problema en cuestión, obtener los datos a través de programas de apoyo, utilizar el contenido de la base de conocimientos para extraer inferencias, registrar las inferencias en la base de datos.

## Tipos de SE

Pueden ser: a) Por categorizaciones: Asistente, Colega y Experto. El Asistente atiende funciones básicas de asesoría, el Colega realiza la atención directa de algún problema y el Experto es el más cercano al desempeño humano. b) Por la naturaleza de la tarea que realizan: De Clasificación - Interpretación, de Control y de Previsión - Concepción. Los primeros clasifican por ejemplo las posibles fallas en función de verosimilitudes, con objeto de obtener su significado. El segundo grupo se caracteriza por una noción del tiempo y la verificación de una correcta ejecución de un proceso. El último grupo se caracteriza por una concesión de recursos bajo limitaciones. c) Por su uso y aceptación en el mercado: Clase Uno, Dos y Tres. Un SE clase uno es de uso común, se encuentra disponible en el mercado informático y es un programa que ha ganado la aceptación de los usuarios. Los SE Clase Dos son aquellos sistemas buenos y uniformemente expertos, aunque no han ganado amplia aceptación por parte del usuario medio. Un SE clase tres es aquel que no ha ganado siquiera aceptación limitada por la comunidad de usuarios.

## SE aplicados al campo de la economía

Se han desarrollado varios tipos de SE aplicados a economía, algunos de los campos abordados son: gestión de valores, observación de tendencias, análisis de mercados, economía energética, planificación de inversiones, planificación de la distribución, evaluación de proyectos, de riesgos, de flujo de caja, evaluación de créditos, carteras, valores,

evaluación de inversiones, interpretación de reglas fiscales, etc.<sup>(7)</sup>.

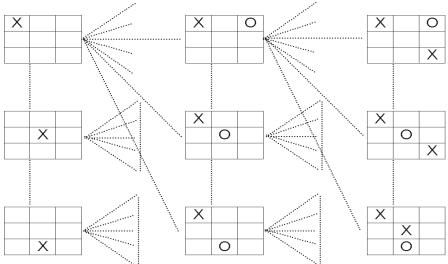
## Reglas de conocimiento y reglas estratégicas

Las reglas estratégicas son aquellas mediante las cuales se puede modelar un juego. De hecho obedecen a las diferentes opciones que tienen los jugadores y éstas en una mayoría de los casos, son cuantificables. Las mismas pueden ramificarse desde una opción hasta "n" opciones, dependiendo del grado de resolución del juego en cuestión. Por otra parte, las reglas de conocimiento se obtienen a través de técnicas cognimáticas, las mismas que se extraen del conocimiento de un experto humano. Su principal característica es que la información en estos términos es más cualitativa que cuantitativa.

## Representación en forma de árbol

Una manera de esquematizar tanto las reglas de conocimiento como las reglas estratégicas es representándolas en forma de "árbol". En TJ se denomina "árbol de probabilidades" (Conjunto de reglas estratégicas) y en SE "árbol de conocimientos" (conjunto de reglas de conocimiento)

Por ejemplo, una representación parcial del comúnmente conocido juego de tres en raya es la siguiente, donde podemos observar las combinaciones posibles (es una representación parcial por cuanto el árbol en su totalidad es demasiado extenso):



El mismo problema resuelto a través de SE se reduce, aunque no lo crea, a 20 reglas principales de conocimiento, 8 de ataque y 12 de defensa. Más las reglas secundarias. La representación de las reglas de ataque sería la siguiente:

	Mq	H	Mq	H	Mq	H	Mq	H	Mq
Ra1	E	C	Ef	El	E	Cb	GR		
Ra2	E	C	Ef	L	Cb	Cb	Cb	LL	
Ra3	E	Ef	el	Cb	E	Cb	GR		
Ra4	E	e	Ef	Cb	E	Cb	GR		
Ra5	E	l	C	Cb	L	Cb	GR		
Ra6	E	L	C	Cb	Cb	Cb	GR		
Ra7	C	L	E	Cb	E	Cb	GR		
Ra8	C	E	E	Cb	Cb	Cb	LL		



