
TEORÍA DE JUEGOS: ¿HACIA DÓNDE VAMOS? (60 años después de von Neumann y Morgenstern)*

Sergio Monsalve**

INTRODUCCIÓN

Hace un poco más de medio siglo, dos refugiados de la Europa de Hitler se encontraban en reunión accidental en la Universidad de Princeton. Uno de ellos era John von Neumann, el famoso matemático húngaro-judío, y el otro era el economista austriaco Oskar Morgenstern. El primero de ellos había venido trabajando (por etapas) desde 1928 en la aplicación de la teoría matemática de “juegos de estrategia” a la teoría económica. Pocos años después, el resultado de este encuentro vendría a representar uno de los mayores logros dentro de la teoría económica moderna: el *Theory of Games and Economic Behavior* de 1944. Este libro de 640 páginas nos lleva a través de doce capítulos con la promesa de que:

entonces será claro que no sólo no habrá nada de artificial en esta relación (entre teoría de juegos y teoría económica) sino que, por el contrario, esta teoría de juegos de estrategia será el instrumento apropiado con el cual desarrollar una teoría del comportamiento económico.

Y a párrafo seguido agregan:

Se comprendería mal el intento de nuestras discusiones si lo interpretaran sólo como una analogía entre estas dos esferas. Esperamos dejar claro, después de desarrollar unos pocos esquemas plausibles, que los problemas típicos

* Este documento es el fruto de varios años de atención a las discusiones de seminario de los profesores Martin Shubick, Robert Aumann, Segiu Hart, Reinhard Selten, Bezalel Peleg y John Harsanyi en el Center for Rationality and Interactive Decision Theory de la Universidad de Hebrew, Jerusalén, Israel. Agradezco a Juan Pablo Herrera y a Julián Arévalo por algunos comentarios sobre el primer manuscrito.

** Profesor del Departamento de Matemáticas, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, monsalvesergio@yahoo.com. Fecha de recepción: 26 de marzo de 2002; fecha de aceptación: 25 de abril de 2002.

del comportamiento económico vienen a ser estrictamente idénticos a nociones matemáticas de juegos de estrategia apropiados.

El trabajo de von Neumann y Morgenstern consolidaría un aparato teórico que permite un cuidadoso estudio de problemas estáticos y dinámicos en economía. Sus soluciones, las posteriores soluciones cooperativas y la solución no-cooperativa de Nash estaban todas dirigidas a este propósito. Es un monumento a su trabajo el que haya ya llegado el momento de ir más allá de este objetivo.

TEORÍA DE JUEGOS, ECONOMÍA, FÍSICA Y MATEMÁTICAS

También en la introducción entran a discutir, como era de esperarse, las posibilidades y limitaciones del método matemático en teoría económica:

Déjenos primero advertir que hasta ahora no existe ningún sistema universal de teoría económica... La razón de esto es simplemente que la economía es una ciencia demasiado difícil para permitir su construcción rápidamente, especialmente en vista del muy limitado conocimiento y descripción imperfecta de los hechos a los cuales nos enfrentamos los economistas. Sólo aquellos que no aprecien esta condición podrían intentar la construcción de sistemas universales. Aun en ciencias que están mucho más avanzadas que la economía, como la física, no existe ningún sistema universal disponible hasta el momento...

Y agregan:

En algunas ramas de la economía, el más fructífero trabajo puede ser el de la descripción cuidadosa y paciente; de hecho, este puede ser de lejos el método más utilizado en el presente y en el futuro próximo en algunas áreas. En otras palabras puede ser ya posible desarrollar una teoría de manera estricta, y para ese propósito se pueden necesitar las matemáticas.

Las matemáticas han sido muy utilizadas en teoría económica, aunque quizás de una manera exagerada. En cualquier caso, su uso no ha sido muy exitoso. Este es contrario a lo que uno observa en otras ciencias: allí las matemáticas se han aplicado con gran éxito, y la mayoría de las ciencias apenas sí pueden evitar utilizarlas.

Esto no significa que exista una razón fundamental por la que las matemáticas no se deberían utilizar en economía. Los argumentos a menudo escuchados de que debido al elemento humano, a factores psicológicos, etc., o debido a que faltan (con razón) medidas de algunos factores importantes, entonces las matemáticas no tienen ninguna aplicación, pueden ser todos desdeñados. Casi todas estas objeciones se han hecho, o se podrían haber hecho, hace muchos siglos en campos donde las matemáticas son ahora el principal instrumento de análisis. Este “se podría haber hecho” tiene el siguiente sentido:

imaginémonos en el período que precede a la fase matemática o casi-matemática del desarrollo de la física, es decir el siglo XV, o de la química y la biología, es decir el siglo XVIII. Dando por segura la actitud escéptica de aquellos que objetan la economía matemática en principio, una mirada a las ciencias físicas y biológicas de estos primeros períodos nos muestra que apenas sí eran mejores que lo que es *-mutatis mutandis-* la ciencia económica en la actualidad.

Existen muchos científicos sociales que objetan el que se hagan tales paralelos (con la física) basados en distintos aspectos, entre los cuales se encuentra generalmente la afirmación de que la teoría económica no se puede modelar como la física pues es una ciencia del fenómeno humano y social, y que tiene que tener en cuenta la psicología, etc.

Tales afirmaciones son por lo menos prematuras. Sin duda es razonable descubrir qué ha llevado al progreso en otras ciencias, e investigar si la aplicación de los mismos principios puede también llevar al progreso en economía. Eso constituiría por sí mismo una revolución mayor. Pero como no hemos alcanzado ese estado -y como no es de ninguna manera seguro que obligatoriamente necesitaremos principios científicos completamente diferentes-, no sería sabio considerar otras alternativas distintas a seguir estudiando nuestros problemas de la manera como sí ha funcionado en las ciencias físicas.

... Se verá que, sin embargo, este proceso de matematización no es del todo obvio. De hecho, las objeciones mencionadas arriba pueden tener sus raíces en parte en las un tanto obvias dificultades de cualquier aproximación matemática directa.

Encontraremos que son necesarias técnicas matemáticas que no se han utilizado hasta ahora en economía matemática, y es muy posible que mayor análisis pueda en el futuro resultar en la creación de nuevas disciplinas matemáticas.

... La importancia de los fenómenos sociales, la riqueza y la multiplicidad de sus manifestaciones, y la complejidad de su estructura, son al menos iguales a las de la física.

Por consiguiente es de esperar -o de temer- que descubrimientos matemáticos de una estatura comparable a la del cálculo diferencial e integral serán necesarios para producir hechos decisivos en este campo (inicialmente, nuestros esfuerzos presentes se deben considerar con este espíritu).

Finalmente, unos párrafos más adelante, afirman para concluir su introducción:

El campo cubierto en este libro es muy limitado y nos aproximamos a él en este sentido con modestia. No nos preocupa en absoluto si los resultados de nuestro estudio están de acuerdo o no con puntos de vista recientes o antiguos, porque lo que realmente es importante es el desarrollo gradual de la teoría, basado en un análisis cuidadoso de los hechos económicos ordinarios de la vida diaria. Este estado preliminar es necesariamente heurístico, es decir, la fase de transición de consideraciones de plausibilidad no-matemáticas al procedimiento formal matemático. Sus primeras aplicaciones son necesariamente a problemas elementales donde el resultado nunca ha estado en duda y no se requiere ninguna teoría. En esta primera fase, la aplicación sirve para corroborar la teoría. La siguiente fase se desarrolla cuando la teoría se aplica a situaciones un tanto más complicadas en las que puede conducir a un nivel más allá de lo obvio y familiar. Aquí la teoría y la aplicación se corroboran una a otra mutuamente. Más allá de esto se encuentra el verdadero éxito: predicción genuina por medio de la teoría. Es bien sabido que todas las ciencias matematizadas han pasado a través de estas fases sucesivas de evolución.

ESTRUCTURA DE LA TOMA DE DECISIONES

La teoría de juegos, o “teoría de las decisiones interactivas” como actualmente se le conoce, provee un lenguaje para describir la estructura de la toma de decisiones por muchos agentes. Tres estructuras básicas de construcción en este lenguaje son la forma extensiva, la forma estratégica y la forma coalicional. Algunos autores sugieren (erróneamente, a nuestro parecer) que la forma coalicional se abstrae completamente de consideraciones dinámicas y de comportamiento. Ellos consideran que allí está implícitamente asumido que todos los individuos saben lo que quieren, saben el poder de los grupos a que pertenecen, y que pueden, sin costo y sin medidas de tiempo, disolver las coaliciones. Por lo tanto, argumentan que el uso principal de la forma coalicional está en las investigaciones normativas a menudo asociadas con axiomas de simetría, equidad, eficiencia y otras “características deseables”. A consecuencia de esto, una mayoría amplia de las discusiones en teoría de juegos se limita a las formas estratégica y extensiva, en donde sí se pueden considerar ciertos procesos y “dinámicas”. Sin embargo, se cree en general que el papel protagónico de las formas coalicionales debe perdurar dentro del estudio de los comportamientos estratégicos, paralelamente al desarrollo de las formas extensiva y estratégica.

ESTÁTICA, DINÁMICA E INFORMACIÓN

La teoría de juegos ha transformado radicalmente nuestra comprensión de las formas de ver la elección estratégica. Pero también su poder ha servido para ilustrar los enormes baches que aún tenemos al

tratar de entender el comportamiento humano. La elegancia y precisión de la formulación en teoría de juegos nos ha posibilitado ver más claramente las simplificaciones radicales implicadas al describir el *homo ludens*. El ideal de hombre racional del microeconomista es, para la mayoría de propósitos, una débil primera aproximación de un individuo. Esta aproximación es valiosa al responder algunas preguntas acerca del comportamiento económico, pero resulta bastante confusa cuando se utiliza en otras situaciones donde el *contexto realmente cuenta*. Al proveernos un lenguaje preciso que describe la toma de decisiones completamente conscientes por individuos con habilidades ilimitadas para calcular, los modelos en teoría de juegos del comportamiento humano nos han dado herramientas para examinar tanto el poder como el éxito de esta aproximación. También, sus limitaciones y debilidades.

Es fácil ver la fortaleza y la elegancia de la noción de forma extensiva de un juego. En el caso del ajedrez, sabemos que es un juego finito con información perfecta (es decir, cada jugador está completamente informado acerca de todo lo que ha sucedido), y que teóricamente se debería poder resolver por inducción hacia atrás. De manera que si dos “supercerebros” juegan ajedrez, el juego terminaría inmediatamente se supiera quién juega blancas. Cada uno, trabajando por inducción hacia atrás desde cada nodo terminal del árbol de juego, podría calcular su estrategia óptima y se tendría un triunfo o un empate sin necesidad de jugar. La forma extensiva provee un lenguaje que describe un proceso interactivo de toma de decisiones conscientes, que identifica cada movida, cada condición y cuándo debe mover cada individuo (salvo en situaciones en que la forma extensiva no es única, ya que esto puede traer a discusión otro tipo de análisis). Existe una definición formal de estrategia. Pero el cuidado y la precisión con la que esta definición se ha desarrollado nos muestra inmediatamente que los humanos no utilizamos estrategias en este sentido. La imagen de un grupo de individuos que observan una lista completa de estrategias de una medida, digamos de $10^{10.000}$, en donde cada estrategia es un libro enorme de instrucciones, nos muestra que ni la gente ni las máquinas juegan ajedrez de esa manera. Ellos tienen algoritmos, reglas de dedo pulgar o muchos otros modelos de comportamiento que les permiten “moverse” por el árbol y simplificar las búsquedas. Aquí, la experiencia cuenta. Por ejemplo, Simon y Schaeffer (1992) muestran que los maestros del ajedrez reconocen más de 50.000 trayectorias de juego. Es decir, distinguen una cierta racionalidad sustantiva que está implícita en la mayoría de las discusiones en teoría de juegos. El ajedrez ilustra la realidad de la dificul-

tao computacional: es necesaria una teoría de la inteligencia artificial integrada a investigación en ciencia cognitiva.

SOLUCIONES PASADAS Y SOLUCIONES FUTURAS

Las principales soluciones cooperativas (con pagos transferibles) investigadas hasta hoy son el núcleo, el nucleolo, el conjunto de negociación, el conjunto estable y fundamentalmente, el valor de Shapley. Estas nociones, aunque normativas, tienen características recientemente descubiertas que abren nuevas puertas de estudio dentro de la teoría (Hart, 2001).

El concepto no-cooperativo de equilibrio de Nash se puede también considerar axiomáticamente a través de la noción de consistencia mutua de expectativas individuales. Sin embargo, la mayor parte del esfuerzo en este punto se ha centrado en modificar algunas de las condiciones de este tipo de equilibrio en una colección de refinamientos teóricos (Van Damme, 1996) que han llevado a pensar que para cada tipo de modelo existe un tipo de equilibrio de Nash conveniente. Pero en definitiva se cree, por parte de muchos teóricos, que el único refinamiento de equilibrio de Nash que sobrevivirá en el largo plazo será el equilibrio de Nash perfecto en subjuegos (Aumann, 1998).

Está bien claro que las direcciones futuras en el desarrollo de las soluciones en teoría de juegos están buscando un énfasis diferente a los desarrollos previos. Y aunque, por ejemplo los trabajos de Harsanyi (1967) sobre jugadores Bayesianos y Aumann (1976) sobre juegos con información incompleta en las reglas y falta de conocimiento común, aún siguen inspirando nuevos avances y extensiones filosóficas, es necesaria una expansión en la dirección de modelos más específicos y contextualizados con el desarrollo de modelos dinámicos confrontables. Los trabajos de Rubinstein (1986) y Neymann (1999) sobre autómatas finitos, y Hammerstein y Selten (1994), Weibull (1996), Friedman (1998) y otros sobre modelos en teoría de juegos evolucionarios, son indicativos del cambio que se está gestando. Y muchos más cambios están ya llegando: no son todavía construcciones matemáticas precisas sino más bien unas ciertas “reglas-guía” o en otras palabras, “reglas” impuestas por el contexto. Estamos en el punto donde nuevos modelos son posibles, dados los desarrollos en métodos computacionales, simulación, formas de observación, crecimiento de los bancos de datos y el avance de las ciencias sociales y biológicas.

SOBRE NÚMEROS

Diferencias cuantitativas a menudo conducen a diferencias cualitativas. En las aplicaciones de la teoría de juegos, el número de agentes y el contexto de su actividad es un punto crítico. Existen dos formas interrelacionadas en las que los números juegan un papel importante al tratar de comprender las fortalezas y límites de la teoría de juegos y su relación con otras aproximaciones. La primera es cómo la teoría es influenciada por los cambios en el número de agentes, y la segunda concierne a la habilidad del agente individual para comunicarse y para procesar información. Los números cuentan y frecuentemente aparecen en los límites de la percepción humana.

Se sugiere el estudio general de la teoría de juegos dentro de seis categorías:

1. Juegos de dos personas
2. Juegos de tres personas
3. Juegos de “pocas personas” (donde “pocas” es de 4 a 20)
4. Juegos de “muchas personas” (donde “muchas” es de 20 a unos pocos cientos).
5. Juegos grandes pero finitos
6. Juegos con un continuo de agentes

La división de las ciencias del comportamiento en Biología, Antropología, Economía, Ciencia Política, Sociología, Psicología Social y Psicología está basada en consideraciones sustantivas que no están reflejadas en las metodologías de la economía actual. Entre humanos con lenguaje, sociedad y cultura, las diferencias cuantitativas en número conducen a diferencias cualitativas en la naturaleza de las interacciones. No es lo mismo comprar anónimamente 100 acciones en una bolsa de valores que comprar un tapete persa, cara a cara, a un vendedor de un mercado árabe. Existen muchas preguntas particulares que deben ser respondidas antes de elaborar del todo una teoría. Hay muchas propiedades interesantes del comportamiento de masa de los individuos donde la analogía entre lo individual en sociedad y la partícula física puede ser suficientemente cercana. Sin embargo, hay también muchas situaciones en que esta analogía es completamente equivocada.

1. *Juegos de dos personas*: preferiblemente con dos estrategias para cada agente, han sido el origen de muchas metáforas y analogías en las discusiones de salón de clase. Aun a este nivel de simplicidad, factores socio-psicológicos muestran las limitaciones de la teoría: serios muestreos señalan claramente que las mujeres orientales sin ninguna experiencia en teoría de juegos tienden a jugar el Dilema del

Prisionero repetido de una manera muy diferente a las australianas.

2. *Juegos de tres personas*: los cuales necesitan un estudio especial. Tres es el primer número para el cual, si se le combina con problemas de información, al individuo le es muy difícil distinguir las acciones específicas de otro agente y se tiende a asociar en grupos, es decir, a formar coaliciones subjetivas.

3. *Juegos de pocas personas*: es aquí donde la teoría de juegos puede empezar a enfrentar lo que se conoce como “complejidad combinatoria”. La cota superior (20 agentes) no es fija ya que está determinada paramétricamente y por contexto. En relaciones de largo plazo en una comunidad (académica, por ejemplo), veinte es un número en el que, todavía, las personas se pueden conocer por su primer nombre. En una industria con alto *turnover* y dispersión regional es poco probable que más de veinte firmas mantengan un conocimiento detallado unas de otras. En alguna parte de esta zona gris entre cuatro y veinte, los niveles de contacto se atenúan, baja el grado de conocimiento común y el papel de la agregación en grupos y/o coaliciones aumenta. La agregación se puede notar en la generación de estereotipos, en la producción de normas sociales o profesionales, etc. La teoría de oligopolio, la teoría de relaciones internacionales, la teoría de clubes y pequeños comités, como también la teoría de manadas son importantes ejemplos en este rango.

4. Una importante pregunta en ciencias sociales es “¿cuántos son muchos?”. En organización industrial ésta es a menudo respondida en términos del nivel de regulación de industria que asegure la competencia. En general, una respuesta adecuada es que depende por lo menos del número de industrias, de la distribución espacial y de la naturaleza de la red de comunicación.

Juegos de “muchas personas” estudian aquella zona en que el anonimato aparece. Sin embargo, aquí la estructura atómica de reconocimiento entre agentes individuales es todavía predominante. Pueblos pequeños con baja movilidad, firmas pequeñas, etc., pueden ser ejemplos.

5. *Los juegos grandes pero finitos* nos muestran el campo de pruebas para el desarrollo de una ciencia del comportamiento masivo. A este nivel, la concentración es menos sobre el comportamiento estratégico entre los agentes y más sobre comportamiento de agentes-masa casi anónimos. Los teóricos de juegos y los socio-sicólogos que analizan comportamientos de masa tienen aquí campo abonado por los métodos de simulación computacional.

6. *Los juegos con un continuo de agentes* son una idealización utilizada fundamentalmente por conveniencia matemática al estudiar si-

tuaciones con muchos agentes donde cada uno de ellos tiene un poder estratégico despreciable. La técnica más conocida en teoría de juegos para estudiar la influencia de un número creciente de agentes es la *replicación*. Un juego con n jugadores se reemplaza con kn jugadores, donde k (el número de réplicas) puede llegar a ser arbitrariamente grande. La cuestión clave a considerar con juegos grandes pero finitos y juegos con un continuo de agentes es si, cuando el juego con un número contable de agentes aumenta arbitrariamente de tamaño, las soluciones se aproximan a la correspondiente solución del juego continuo. Analíticamente es más fácil trabajar con la versión continua. Si se puede mostrar que las soluciones de los juegos finitos convergen a las soluciones del juego continuo, entonces el tratamiento del problema se facilita. Si esto no sucede, la explicación de la discrepancia puede ser de considerable importancia para la comprensión del fenómeno a mano.

SOLUCIONES Y PREDICCIÓN

Von Neumann era realmente escéptico de las soluciones en teoría de juegos que predecían sólo un punto. De hecho, a pesar de los intentos por refinar la solución de equilibrio no-cooperativo al tratar de elegir sólo un equilibrio, la unicidad de predicción para cualquier solución es una rareza debido a propiedades especiales del problema en consideración. Entre las soluciones cooperativas que se han propuesto, el valor de Shapley es único para juegos con pagos no transferibles.

Sin embargo, no es correcto interpretar esto como una predicción. Es en esencia un promedio estadístico que premia al individuo con su productividad marginal esperada sobre la hipótesis de que todos los órdenes en los cuales un individuo entra a una coalición son equiprobables.

En muchos problemas altamente prácticos de investigación de operaciones, los estimativos buscados son estadísticas. Uno quiere conocer el número de objetos en *stock* que maximiza el beneficio esperado. Nadie trata de predecir si el Sr. González va o no a comprar una máquina lavadora en los próximos seis meses. El ejemplo de Brian Arthur (1994a) sobre un modelo de crecimiento que sigue un proceso de Polya nos habla de la "impredecibilidad fundamental" que se encuentra alrededor de lo que sucede con una firma innovadora particular. Pero sí tiene argumentos acerca de lo que sucede con la media del universo de firmas.

El ejemplo de Bak (1996) sobre la frecuencia (aunque no el momento exacto) de ocurrencia de los terremotos basado en la ley de

Gutenberg-Richter (y otros muchos ejemplos) es un argumento a favor de la ciencia, no como descripción de propiedades individuales sino de propiedades globales. Es decir, hasta ahora, lo mejor que podemos esperar es obtener regularidades estadísticas. En lugar de predecir el clima para ver si podemos hoy hacer un picnic, deberíamos, según la teoría, construir un pequeño protector de sol y hacer un picnic ahí. De hecho en muchos casos, los humanos evitamos las intratables predicciones globales sustituyéndolas por soluciones basadas en control local.

LOS JUEGOS DENTRO DEL JUEGO

En aplicaciones convencionales de la teoría de juegos, una cuestión básica es qué constituye un jugador. Un jugador puede ser una colección de genes egoístas, puede ser una célula, un ser humano, una corporación o hasta una institución. Sin embargo, los genes manipulan a las células; las células, a los seres humanos y los seres humanos, a las corporaciones y a las instituciones. Ha habido un considerable desarrollo en la aplicación de la teoría de juegos a la biología evolucionaria (Van Damme, 1996; Weibull, 1996; Friedman, 1998). Un elemento clave en estas aplicaciones es que el agente individual no se modela como tomador de decisiones independiente, sino como un *dummy* estratégico o como un mecanismo con una estrategia fija dada. Se cree que existe un terreno medio entre el mecanismo puro y el *homo ludens*, que es un agente que sólo maximiza localmente y donde la influencia del comportamiento general de todos los agentes cambia el ambiente en el cual operan, y este cambio está regido por un proceso evolucionario de largo plazo que tiene en general poco (aunque no ningún) impacto sobre el agente optimizador local. Un modelo como este mostraría un complejo conjunto de “juegos dentro del juego” o juegos inter e intraconectados, todos en diferentes escalas de tiempo. Aun así, los agentes optimizadores (inclusive “localmente”) no existen en la realidad: la optimización por un individuo es un mito perpetuado por aquellos que no ven la complejidad de la vida humana como un complicado proceso estocástico con interacciones.

¿DÓNDE ESTÁN ALGUNOS PROBLEMAS?

COMPLEJIDAD COMPUTACIONAL

Verdaderas dinámicas en los modelos económicos requieren investigación de sistemas adaptativos complejos. ¿Acaso una colección de

individuos que actúan en paralelo resuelven verdaderos programas dinámicos estocásticos en paralelo? La evidencia parece ser que esta no es la forma en que se comportan. ¿O será que los resultados de sus comportamientos son “como si” verdaderamente estuvieran resolviendo problemas de optimización? Muchos de estos problemas requieren altas dimensiones de cálculo computacional, a menos que se reduzcan mediante estructuras o hipótesis particulares.

TIEMPO FINITO O TIEMPO CONTINUO

Vale la pena explorar en cada caso la relación entre modelos de tiempo continuo y tiempo discreto. La cuestión crítica es si las soluciones límite del modelo finito (cuando las variaciones discretas de tiempo tienden a cero) se aproximan a las soluciones del modelo continuo, y de qué forma lo hacen. Una ilustración de este problema la hemos ya visto en el desarrollo de la teoría del valor desde la perspectiva de los juegos cooperativos. Otro ejemplo aparece cuando investigamos el papel del dinero en una economía donde la velocidad de su uso en transacciones puede llegar a ser muy grande (recordemos que a la cantidad de dinero para transacciones en una economía se le compara con la “energía libre” de un sistema físico abierto). Si permitimos que la velocidad sea infinita, entonces la cantidad requerida para mover una economía sería nula. Sin embargo, los humanos sólo podemos verificar transacciones en una cantidad finita de tiempo. Así, aunque ir al límite puede dar una sensación de elegancia matemática, para un modelo del que se tomen decisiones esto puede ser menos apropiado que considerar que hay una cota inferior del tiempo en que un ser humano toma una decisión.

COMPLEJIDAD Y CONTEXTO

La tendencia en teoría de juegos ha sido el considerar sofisticadas unidades individuales capaces de realizar complejos cálculos computacionales en medioambientes de cualquier nivel de complejidad. Parecería que al menos uno de los siguientes pasos va a considerar la interacción de agentes individuales menos complejos. Los desarrollos actuales en ciencia del comportamiento, aunque no abandonan la teoría de juegos, son el reconocimiento de que las conclusiones de la teoría de juegos nos conducen más allá del modelo estándar del *homo ludens*.

COMPLEJIDAD O SIMPLICIDAD

Una importante ruptura en el desarrollo de la teoría de juegos es el cambio de las herramientas del cálculo diferencial a la combinatoria. Pero inmediatamente la pregunta surge, ¿es acaso la combinatoria más simple que el cálculo diferencial? Para muy pocos agentes, el método combinatorio se puede considerar más simple; para un número mediano parece ser más complejo, y para números extremadamente grandes surge cierta simplicidad en la forma de propiedades de media o promedios del sistema.

Arthur, Durlauf y Lane (1997) sugieren seis problemas de la economía que no se pueden manejar fácilmente con la matemática que actualmente se utiliza en teoría económica. Estos son:

1. Interacción dispersa, que aparece cuando agentes heterogéneos actúan anticipando el comportamiento de un número limitado de otros agentes y también el estado agregado de la economía.

2. Ningún controlador global controla las interacciones; las instituciones median entre competencia y cooperación.

3. Organizaciones jerárquicas transversales; existen muchos niveles de organización, algunos de los cuales sirven como “bloques de construcción” para instituciones más complejas. Sin embargo, las interconexiones entre ellos pueden ser virtualmente cualquier red.

4. Adaptación continua; modelos en los que las acciones y las estrategias estén bajo revisión constante.

5. Novedad perpetua; los nuevos mercados, las nuevas instituciones, las nuevas tecnologías, y los nuevos comportamientos crean “*nichos*” constantemente.

6. Economías operando en desequilibrio; el incesante bombardeo de cambios en la tecnología, en la política, etc.

Los modelos de Kaufmann (1993), Bak (1996), Conway [ver Sigmund (1993)] y otros, junto a esta lista de arriba, se pueden considerar retos fundamentales de la economía del siglo XXI, y en particular del teórico de juegos. Un elemento central es el estudio de modelos de coevolución en sistemas no conservativos y en desequilibrio. Para esto se viene haciendo énfasis en el estudio de masas de agentes heterogéneos con múltiples pero limitadas habilidades, en interacción dentro de un ambiente estocástico.

ALGO SOBRE EL FUTURO

TEORÍA DE JUEGOS CLÁSICA: MÁS DE LO MISMO

Se cree que tanto la teoría de juegos cooperativos clásica y la teoría bayesiana no cooperativa continuarán creciendo. Todavía hay mucho

que entender de los modelos axiomáticos normativos que nos enseña la teoría de juegos cooperativos. Y todavía se sigue buscando modificar los conceptos solución no cooperativos, modificando las estructuras de información, particularmente la de “conocimiento común”. Sin embargo, el problema se encuentra más en la forma como se ha modelado el *homo ludens* y no en refinar la definición de equilibrio.

TEORÍA DE JUEGOS EVOLUCIONARIOS

La teoría de juegos evolucionarios seguirá creciendo. Muchos “teóricos puros” de juegos creen que esta no es teoría de juegos “verdadera”, ya que los actores son de hecho mecanismos preprogramados. Sin embargo, en un sentido, estos mecanismos se pueden considerar modelos razonables de agentes con racionalidad acotada. Además existen buenas posibilidades de examinar la evidencia experimental de las predicciones de la teoría de juegos evolucionarios: la biología básica y el estudio del comportamiento animal ofrecen un considerable campo de pruebas para simulaciones de gran escala donde las masas de agentes siguen reglas de comportamiento relativamente simples. Si esto es o no es teoría de juegos debe ser secundario. El objetivo es comprender los problemas en lugar de preocuparnos por el estatus del procedimiento metodológico.

AUTÓMATAS

Los trabajos teóricos de Rubinstein (1986), Neymann y Okada (2001) son importantes. Es necesario seguir experimentando con jugadores artificiales en juegos de suma cero (pero también en aquellos con suma no cero), pues este tipo de trabajo nos señala importantes comparaciones e intuiciones entre los humanos y las máquinas.

COMPORTAMIENTO DE MULTITUDES

A pesar de excelentes libros como el de Le Bon (1977), escrito en 1895, sobre el comportamiento de multitudes, es muy poco aún lo que se entiende acerca de este problema. ¿Cuándo un conjunto de individuos aislados se convierte en una multitud? ¿Cuándo una multitud se convierte en una turba? ¿Cuál es la génesis de una burbuja financiera? ¿Qué convierte una burbuja en una crisis? ¿Cuáles circunstancias dejan el comportamiento anónimo en las masas prácticamente sin correlación? ¿Existen analogías entre estos cambios en el comportamiento de multitudes y los cambios de fase en física?

El mercado de acciones y otros mercados de masas anónimas se pueden ver como mecanismos que facilitan la coordinación de millones de individuos donde cada uno se considera a sí mismo un jugador solitario contra un mecanismo agregado llamado “mercado”. Puesto que el comportamiento de los agentes no es correlacionado, se esperaría encontrar sólo “ruido blanco” alrededor de un equilibrio no cooperativo. Sin embargo, parece que la forma como se construyen las expectativas acerca del comportamiento del mercado tiene importancia.

El trabajo de Arthur AA. VV. (1997) en donde simula individuos que escogen entre una colección de reglas heurísticas en la medida en que van “aprendiendo” del mercado, ofrece una aproximación al problema de cómo una masa aprende a elegir expectativas y precios en el mercado de acciones. Esto es un indicativo de nuevas direcciones que los más puristas no considerarían “teoría de juegos”, pero que apuntan al corazón del problema: competencia y colaboración, sólo que desde una perspectiva distinta.

NOTAS FINALES

Desde una perspectiva general de la teoría de juegos en las ciencias del comportamiento, es claro que se ha subestimado el poder normativo y aplicado de la teoría de juegos cooperativos y se ha sobreestimado la efectividad de la teoría no cooperativa.

La teoría de juegos cooperativos está presente por, al menos, dos razones principales. Primero, ofrece un alto nivel de abstracción que permite construir y analizar sistemas de axiomas que permiten examinar más de cerca cuestiones sutiles como poder, equidad, justicia, descentralización y eficiencia bajo diferentes condiciones impuestas sobre la medición y la comparación de las preferencias, en presencia o en ausencia de transferencia de los pagos. Segundo, existe una gran cantidad de problemas aplicados en donde el análisis normativo tiene sentido. La aplicación de los equilibrios no cooperativos a la Economía, la Biología, las Ciencias Políticas y el Derecho han tenido mucho éxito. Los intentos de modificar los equilibrios no cooperativos siguen avanzando. Pero todo parece indicar que se está alcanzando ya un punto de rendimientos decrecientes. *La principal lección que se debe entender es que no existe ninguna teoría general completamente satisfactoria (y tal vez nunca la habrá) de dinámica estratégica, y que es muy poco probable que ésta surja de modificaciones de la definición de equilibrio no cooperativo o cooperativo si preservamos el modelo homo oeconomicus del tomador de decisiones racional. El modelo del agente*

racional completamente informado es una pobre aproximación que en el estudio de muchos problemas de decisión es sólo una conveniencia matemática.

El estudio de la teoría de juegos nos ha dado un poderoso lenguaje que nos ha ayudado a examinar algunos de los problemas enfrentados por agentes optimizadores conscientes dentro de situaciones de competencia. El éxito de estas aplicaciones ha mostrado sus límites. Los requerimientos analíticos y computacionales nos muestran que esta no es la forma de resolver estos problemas. Las paradojas que aparecen entre la racionalidad individual y la racionalidad social indican ya la dificultad de señalar la “solución correcta” para un juego de n personas. La creciente evidencia de cómo se comportan los individuos en juegos experimentales y el interés de comprender la competencia y la cooperación entre genes, células, insectos, plantas y otros organismos vivientes señala la dirección del futuro desarrollo de la teoría de juegos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aumann, R. J. 1976. “Agreeing to Disagree”, *The Annals of Statistics* 4, pp. 1236-1239.
- Aumann, R. J. 1998. “On the State of the Art in Game Theory: An Interview with Robert Aumann”, *Games and Economic Behavior* 24, pp. 181-210.
- Arthur, W. B. 1994a. *Increasing Returns and Path Dependence in the Economy*, Ann Arbor, University of Michigan Press.
- Arthur, W. B. 1994b. “Inductive Behavior and Bounded Rationality”, *American Economic Review* 84, pp. 406-411.
- Arthur, W. B.; Holland, J. H.; Le Baron, B.; Palmer, R. y Taylor, P. 1997. “Asset Pricing under Endogenous Expectations in an Artificial Stock Market”, Arthur, W. B.; Durlaff, S. N. y Lane, D. A., editores, *The Economy as an Evolving Complex System II* Reading, MA, Addison Wesley.
- Arthur, W. B.; Durlaff, S. N. y Lane, D. A. 1997. *The Economy as an Evolving Complex System II* Reading, MA, Addison Wesley.
- Axelrod, R. 1984. *The Evolution of Cooperation*, Nueva York, Basic Books.
- Bak, P. 1996. *How Nature Works*, Nueva York, Springer Verlag.
- Bak, P.; Pazuski, M. y Shubik, M. 1998. *Price Variations in a Stock Market with Many Agents*, Special Issue of *Note Economiche*, Proceedings from Conference on Risk and Derivatives, en proceso.
- Brothers, L. 1997. *Friday's Footprint*, Nueva York, Oxford University Press.
- De Long, J. B.; Schleifer, A.; Summers, L. H. y Waldmann, R. J. 1990. “Noise Trader Risk in Financial Markets”, *Journal of Political Economy* 98, pp. 703-738.
- Dreyfus, H. L. y Dreyfus, S. E. 1986. *Mind Over Machine*, Nueva York, Free Press.

- Dubey, P. y Shapley, L. S. 1979. "Mathematical Properties of the Banzhaf Power Index", *Mathematics of Operation Research* 4, pp. 99-131.
- Epstein, J. M. y Axtell, R. 1996. *Growing Artificial Societies*, Washington, Brookings Institution Press.
- Feigenbaum, E.; McCorduck, P. y Nii, H. P. 1988. *The Rise of the Expert Company*, Nueva York, Vintage Books.
- Fessler, J. W. 1988. "The State and Its Study: The Whole and the Parts", *Political Science and Politics* 21, pp. 891-900.
- Friedman, D. 1998. "On Economic Applications of Evolutionary Game Theory", *Journal of Evolutionary Economics* 8, pp. 15-43.
- Geanakoplos, J. 1994. "Common Knowledge", Aumann, R. J. y Hart, S., editores, *Handbook of Game Theory*, vol. 2, Amsterdam, Elsevier, capítulo 40.
- Gelernter, D. 1991. *Mirror Worlds*, Nueva York, Oxford University Press.
- Gomory, R. E. 1995. "The Known, the Unknown and the Unknowable", *Scientific American* 88.
- Gell-Mann, M. 1994. *The Quark and the Jaguar*, Nueva York, W. H. Freeman and Company.
- Hammerstein, P. y Selten, R. 1994. "Game Theory and Evolutionary Biology", Aumann, R. J. y Hart, S., editores, *Handbook of Game Theory*, vol. 2, Amsterdam, Elsevier.
- Harsanyi, J. C. 1967. "Games with Incomplete Information Played by Bayesian Players, I: The Basic Model", *Management Science* 14, pp. 159-182.
- Hart, S. 2001. "Values of Perfectly Competitive Economics", Aumann, R. J. y Hart, S., editores, *Handbook of Game Theory*, vol. 3, Amsterdam, Elsevier.
- Hesse, H. 1970. *Magister Ludi*, Nueva York, Bantam Books.
- Hoggart, A. C. 1969. "Response of Paid Students Subjects to Differential Behavior of Robots in Bifurcated Duopoly Games", *Review of Economics Studies* 36, pp. 417-432.
- Huizinga, J. 1950. *Homo Ludens*, Boston, Beacon Press.
- Kauffman, S. A. 1993. *The Origins of Order: Self-organization and Selection in Evolution*, Nueva York, Oxford University Press.
- Kohlberg, E. y Mertens, J. F. 1986. "On the Strategic Stability of Equilibria", *Econometrica* 54, pp. 1003-1037.
- Le Bon, G. 1977 (original en francés 1895). *The Crowd*, Nueva York, Penguin Books.
- Mandelbrot, B. 1983. *The Fractal Geometry of Nature*, Nueva York, Freeman.
- Masters, R. D. 1983. "The Biological Nature of the State", *World Politics* 35, pp. 161-193.
- Miller, G. A. 1956. "The Magic Number Seven Plus or Minus Two", *The Psychological Review* 63, pp. 81-97.
- Minsky, M. 1985. *The Society of the Mind*, Nueva York, Simon y Schuster.
- Neymann, A. y Okada, D. 2001. "Strategic Entropy and Complexity in Repeated Games", *Games and Economic Behavior* (en proceso).
- Neymann, A. 1999. "Finitely Repeated Games with Finite Automata", *Mathematics of Operations Research* 23, pp. 513-552.
- Paret, P., editor, 1986. *Markets of Moder Strategy*, Princeton, Princeton University Press.

- Rubinstein, A. 1986. "Finite Automata Play the Repeated Prisoner's Dilemma", *Journal of Economic Theory* 39, pp. 83-96.
- Rust, J. 1997. "Using Randomization to Break the Curse of Dimensionality", *Econometrica*.
- Shannon, C. 1948. *A Mathematical Theory of Communications*, Nueva York, Bell Telephone System Monograph B-1598.
- Shubik, M. 1959. *Strategy and Market Structure*, Nueva York, Wiley.
- Shubik, M.; Wolf, G. y Lockhart, S. 1971. "An Artificial Player for a Business Market Game", *Simulation and Games*, pp. 27-43.
- Shubik, M. y Weber, R. J. 1981. "Systems Defense Games: Colonel Blotto, Command and Control", *Naval Research Logistics Quarterly* 28, pp. 281-287.
- Sigmund, K. 1993. *Games of Life: Explorations in Ecology, Evolution and Behavior*, Nueva York, Oxford University Press.
- Simon, H. A. y Schaeffer, J. 1992. "The Game of Chess", Aumann, R. J. y Hart, S., editores, *Handbook of Game Theory*, vol. 1, Amsterdam, Elsevier.
- Slobodkin, L. 1992. *Simplicity and Complexity in Games of the Intellect*, Cambridge, Harvard University Press.
- Traub, J. F. y Wozniakowski, H. 1980. *A General Theory of Optimal Algorithms*, Nueva York, Academic Press.
- Trivers, R. 1985. *Social Evolution*, Menlo Park, CA, Benjamin/Cummings.
- Tullock, G. 1994. *The Economics of Nonhuman Societies*, Tucson, Pallas Press.
- Van Damme, E. 1996. *Stability and Perfection of Nash Equilibria*, segunda edición, Berlin, Springer Verlag.
- Von Neumann, J. 1996. *Theory of Self Reproducing Automata*, editado por A. W. Burks, Champaign, University of Illinois Press.
- Von Neumann, J. y Morgenstern, O. 1944. *Theory of Games and Economic Behavior*, Princeton University Press.
- Weibull, J. W. 1996. *Evolutionary Game Theory*, Cambridge Massachusetts, MIT Press.
- Weiner, N. 1948. *Cybernetics*, Nueva York, Wiley.