

## Aprendizaje Evolutivo en la Subasta Doble Continua. Un enfoque Multiagente

Marta Posada Calvo, Cesáreo Hernández Iglesias, Adolfo López Paredes

Área de Organización de Empresas. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales. Universidad de Valladolid. Paseo del Cauce s/n. 47011 Valladolid. {[posada](mailto:posada@eis.uva.es), [cesareo](mailto:cesareo@eis.uva.es), [adlo@eis.uva.es](mailto:adlo@eis.uva.es)}

### Resumen

*En este trabajo examinamos la posible emergencia de equilibrios de Nash en el contexto de Doble Subasta Continua (Continuous Double Auction, CDA). La CDA es una de las instituciones de mercado dominantes en el mundo real: mercado de la energía, derivados, activos negociables, etc. Y además existen numerosos resultados obtenidos de la economía experimental.*

*Iniciamos el trabajo señalando que los Sistemas Multiagente recogen “de oficio” los criterios que se reconocen como imprescindibles en el diseño de experimentos en economía: entorno, institución y comportamiento de los agentes. Estas tres dimensiones de todo experimento de mercado son esenciales para distinguir el aprendizaje social del individual.*

*Para ilustrar el comportamiento de los agentes en los mercados CDA partimos de los trabajos de Walsh et al. (2002). Utilizamos agentes software que pueden tener varias estrategias de compra-venta; desde la de inteligencia cero (ZI) a estrategias con expectativas de precios. La elección de estas alternativas por parte de los agentes se embebe en el propio aprendizaje social, garantizando así el realismo del modelo y su carácter evolucionista. De este modo enriquecemos y extendemos los modelos de CDA que utilizan mecanismos de aprendizaje no evolucionistas.*

*Concluimos nuestro trabajo señalando las implicaciones metodológicas de nuestra aproximación en el contexto genérico del proceso mental de las decisiones del agente económico (la decisión como proceso, evolutiva, y no como producto, constructivista).*

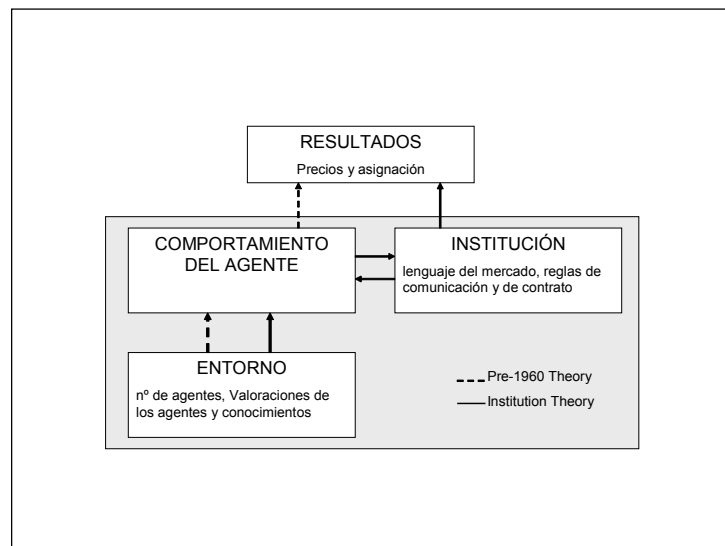
**Palabras clave:** Doble Subasta Continua. Economía del Comportamiento. Simulación Social. Sistemas Multiagente

### 1. El funcionamiento de los mercados: las subastas

La Teoría Económica Neoclásica establece, bajo las hipótesis de información completa y de racionalidad ilimitada, las condiciones bajo las cuales en un mercado existe un precio de equilibrio en el que todos los agentes maximizan su utilidad. Las condiciones de oferta y demanda representan la estructura o el entorno de un mercado. En función de ellas, la Teoría Económica clasifica los mercados en mercado competitivo, oligopolio y monopolio. Sin embargo, hay aspectos que la Teoría Económica Neoclásica no captura, como la descripción de cómo se alcanza el precio de equilibrio o el proceso de decisión de los agentes. Para llenar este vacío se desarrolla la teoría de subastas y mercados. Su objetivo es estudiar la interacción y el comportamiento estratégico de los agentes que participan en los mercados. La Teoría Económica calcula el equilibrio derivado del entorno haciendo suposiciones *ad hoc* sobre el comportamiento de los agentes. Smith (1992) se refiere a ella como *Pre-1960 Institution-Free Theory*.

Vernon Smith, uno de los pioneros de la Economía Experimental, establece que en un mercado hay que tener en cuenta tres elementos básicos: *el entorno* (dotaciones iniciales de los agentes, preferencias y costes que motivan el intercambio), *la institución* (el lenguaje de comunicación entre los agentes, las reglas que gobiernan el intercambio de información y la forma en la que se cierra el contrato) y *el comportamiento de los agentes* (Figura 1). Es importante tener en cuenta la institución con la que se opera en el mercado para calcular el equilibrio del mismo debido a la relación existente entre la institución y el comportamiento de los agentes.

Por ejemplo, la Teoría Económica predice que en un monopolio el vendedor es el que fija el precio de venta y lo hace donde su ingreso marginal coincide con su coste marginal. Smith demuestra que el precio monopolista se alcanza cuando el vendedor anuncia los precios de venta sin dar la oportunidad a que los compradores negocien el precio. Es decir, los compradores se limitan a aceptar o rechazar esas ofertas (*posted offer*). Sin embargo, el precio de las transacciones está próximo al precio competitivo, a pesar del entorno monopolista, cuando los compradores hacen ofertas de compra en respuesta a las ofertas de venta que realiza el monopolista (*continuous double auction*).



**Figura 1.** Instituciones en Teoría Económica. Fuente: Smith (1992)

Para estudiar el comportamiento de los agentes se utilizan tres herramientas: la teoría de juegos, la economía experimental y la inteligencia artificial.

La teoría de juegos analiza el problema de forma teórica. Este enfoque es aceptable cuando analiza el comportamiento de los agentes en mercados en los que la cantidad ofertada (o demandada) es independiente del precio. Sin embargo, no es útil al explicar las decisiones estratégicas que toman los agentes en entornos dinámicos complejos.

La economía experimental analiza el problema de forma empírica. Esta herramienta ha ido ganando credibilidad con los años. Prueba de ello es que Vernon Smith recibió el premio Nobel de Economía en 2002 por haber establecido los experimentos de laboratorio como herramienta que permite generar evidencia empírica para contrastar las teorías elaboradas y establecer regularidades empíricas como base de nuevas teorías.

La economía experimental nos permite observar el comportamiento de los agentes económicos, pero no arroja luz sobre las estrategias utilizadas. Para analizar el comportamiento estratégico se recurre a la teoría de juegos. Los agentes deben resolver la siguiente cuestión: *si creo que mis competidores son racionales y actúan maximizando sus beneficios, ¿cómo debo incorporar su comportamiento cuando diseño mi estrategia maximizadora de beneficios?* Pero la hipótesis de que los agentes tienen capacidad para evaluar todas las estrategias y elegir aquella que maximiza los beneficios es irrealista.

La tercera herramienta, la inteligencia artificial aplicada al análisis económico, nos permite controlar el comportamiento de los agentes sustituyendo a los humanos por agentes software. Es posible dotar a los agentes de la capacidad de razonamiento y de computación que deseemos: nula (como los agentes Cero-Inteligentes de Gode y Sunder (1993), limitada o ilimitada.

La teoría de subastas, tanto desde su enfoque teórico como desde su enfoque experimental, es un campo maduro, con mucha literatura. Los experimentos de mercados están entre los primeros que se realizaron, allá por los años sesenta. Sin embargo, el uso de agentes de software para estudiar fenómenos económicos mediante la simulación es un campo relativamente nuevo, conocido como *Agent Computational Economics*. El estudio computacional de las subastas es complementario a los dos enfoques anteriores.

El grupo de trabajo al cual pertenecen los autores, InSiSoc, viene aplicando la teoría de Sistemas MultiAgente (SMA) a diversos ámbitos de la administración de empresas y la economía: innovación y gestión de I+D, estrategias de negociación (Hernández Iglesias *et al.*, 1999; López-Paredes *et al.*, 2002), análisis e ingeniería de instituciones económicas (López-Paredes, 2004) y finanzas (Pajares *et al.*, 2003b).

## **2. Agentes Artificiales en la subasta doble continua (CDA)**

La CDA es una de las instituciones de mercado dominantes en el mundo real: mercado de la energía, derivados, activos negociables, etc. El análisis del comportamiento de los agentes en este tipo de subasta, desde el punto de vista teórico, es difícil debido a la dinámica del proceso y aún no se ha conseguido. Los intentos realizados utilizando la teoría de juegos han fracasado. La mayor parte del análisis se ha obtenido de estudios experimentales (Smith, 1992). Estos trabajos han proporcionado suficiente evidencia empírica para entender mejor cómo la estructura del mercado y el comportamiento de los agentes afectan a la velocidad y la eficiencia del mercado. Sin embargo no han arrojado luz sobre las estrategias que utilizan los agentes.

El enfoque computacional, como complemento al enfoque teórico y al experimental, estudia las estrategias de negociación de los agentes. Los primeros trabajos en esta línea se publicaron hace una década (Gode y Sunder, 1993; Rust, Miller y Palmer, 1993). Partiendo de un entorno que se ha estudiado previamente en un experimento y especificando el comportamiento de los agentes, se analizan los resultados obtenidos en la simulación comparándolos con los resultados obtenidos de forma experimental.

Intuitivamente parece obvio que la inteligencia, o adaptación, es necesaria en los agentes que participan en una subasta. Sin embargo, Gode y Sunder (1993) muestran cómo en la subasta doble se pueden conseguir altos niveles de eficiencia (*allocative efficiency*) incluso con agentes que no buscan beneficios y ni, mucho menos, maximizan.

Por desgracia el término *subasta doble* (*double auction*) se ha utilizado de forma general para referirse a mercados en los que tanto compradores como vendedores desempeñan un papel activo en el proceso de fijación de precios, anunciando sus precios de compra o venta, respectivamente.

La subasta doble, así definida, engloba varias instituciones. Las reglas de intercambio de dichas instituciones difieren en cuándo se pueden hacer los anuncios de compra/venta (cada agente en el momento que lo desee o todos a la vez en un determinado momento); en quién escucha los anuncios de precios (todos los agentes o sólo algunos de ellos); en cuándo se pueden realizar las transacciones (en cualquier momento o todas a la vez al final del periodo) y en la presencia activa o pasiva de un subastador que hace que las transacciones sean todas al mismo precio o a precios diferentes. Estas diferencias en las reglas de intercambio afectan de forma importante al comportamiento estratégico de los agentes.

En particular, en la CDA los compradores anuncian sus licitaciones y los vendedores anuncian sus ofertas en cualquier momento. Todos los agentes escuchan simultáneamente los anuncios. La transacción o contrato ocurre cuando un comprador acepta una oferta realizada por algún vendedor o un vendedor acepta una licitación realizada por algún comprador.

Las CDA originales eran orales. En ellas, las pujas se eliminan tan pronto como existe una puja más favorable o tiene lugar un intercambio. El hecho de que los individuos se comunican a través del ordenador permite establecer nuevas reglas en lo que se refiere al tiempo de permanencia de las pujas en la pantalla del ordenador. Los experimentos realizados para evaluar cómo afectan diferentes reglas a la velocidad de convergencia de los precios obtienen que la convergencia al equilibrio es más rápida cuando hay una lista de pujas ordenada (*rank queue*) que con simple regla de mejora<sup>1</sup>. Esta variación de CDA es la que nosotros utilizamos.

Los agentes que participan en mercados estructurados bajo la subasta doble continua conocen solamente la valoración de sus unidades y no tienen información suficiente para determinar la oferta y la demanda de mercado. Cada agente trata de hacer supuestos acerca de las pujas que realizarán los demás agentes, fijándose en la historia de las pujas y en los precios a los que finalmente se han realizado las transacciones. Como consecuencia, los participantes se enfrentan a decisiones secuenciales complejas: *¿cuánto pujar?*, *¿cuándo pujar?* y *¿cuándo aceptar una puja?*

El programador no observa el comportamiento de los agentes, sino que lo controla especificando tres decisiones: *¿cuánto pujar?*, *¿cuándo pujar?* y *¿cuándo aceptar una puja?*. Estas decisiones se corresponden con el proceso de pensar una puja, realizarla en voz alta y aceptar una puja hecha por otro agente, respectivamente. Las reglas de comunicación de la institución pueden hacer que unas decisiones que son tomadas por los compradores y por los vendedores en la economía experimental, dejen de serlo en economía computacional.

### **3. Tipos de agentes y equilibrios en CDA**

Para valorar el comportamiento de los agentes software es necesario reproducir un entorno que se ha estudiado previamente en un experimento. Tal es el caso de Gode y Sunder (1993), Cliff y Bruten (1997) y Gjerstad y Dickhaut (1998). Tesouro y Das (2001) comparan estas

---

<sup>1</sup> Cuando decimos que una puja mejora la puja anterior significa que sólo se admiten licitaciones mayores que la licitación anterior y ofertas menores que la oferta anterior (regla 71 y 72 en NYSE).

estrategias cuando compiten entre sí y con la estrategia de Kaplan. La estrategia de Kaplan fue la ganadora de la competición organizada por *Santa Fe Institute* (Rust, Miller y Palmer, 1993). A continuación indicamos cómo toman la decisión de “cuánto pujar” cada uno de estos agentes.

### 3.1. Agentes Kaplan

Los compradores Kaplan hacen una oferta de compra igual a la oferta de venta actual cuando se dan una de las tres siguientes condiciones:

- (1) El tiempo se acaba (*time running out*): la fracción de tiempo que falta para terminar el periodo es del 10%.
- (2) La mejor oferta de venta es menor que el mínimo precio de transacción del periodo anterior.
- (3) La mejor oferta de venta es menor que el máximo precio del periodo anterior, la diferencia entre las ofertas de compra y de venta actuales es menor de 10% de la oferta de venta actual, y el margen de beneficios esperados es superior al 2%.

### 3.2. Agentes *Zero-Intelligente Plus* (ZIP)

Cliff y Bruten (1997) proponen un agente con aprendizaje adaptativo para tomar la decisión de “cuánto pujar”. Estos agentes hacen sus ofertas de compra o de venta en función de un margen de beneficios que varía durante el proceso de subasta, mediante un aprendizaje adaptativo, basándose en la actividad previa de los otros agentes del mercado.

Los agentes ZIP originales ajustan sus márgenes de beneficios al alza o la baja en función del valor de la última puja, de si esa puja la hizo un comprador o un vendedor y de si fue aceptada o rechazada. Mientras que modificaciones posteriores sólo consideran que la última puja sea aceptada o rechazada para ajustar sus márgenes de beneficios. Tesauro y Das (2001) consideran que siempre hay incentivo para modificar el margen al alza y que un agente está dispuesto a modificar su margen cuando transcurre el tiempo sin que haya transacciones.

De forma general, tanto compradores como vendedores ajustan sus pujas en la dirección del precio de las transacciones. Si dicho ajuste supone reducir el margen, solamente lo harán aquellos agentes que tengan unidades pendientes de negociar.

### 3.3. Agentes GD

La estrategia de comportamiento que tienen los agentes desarrollados por Gjerstad y Dickhaut (1998), a los que llamamos agentes GD, es más sofisticada que en los modelos anteriores. Los agentes GD construyen unas creencias sobre la probabilidad de que una puja sea aceptada para tomar la decisión de “cuánto pujar”.

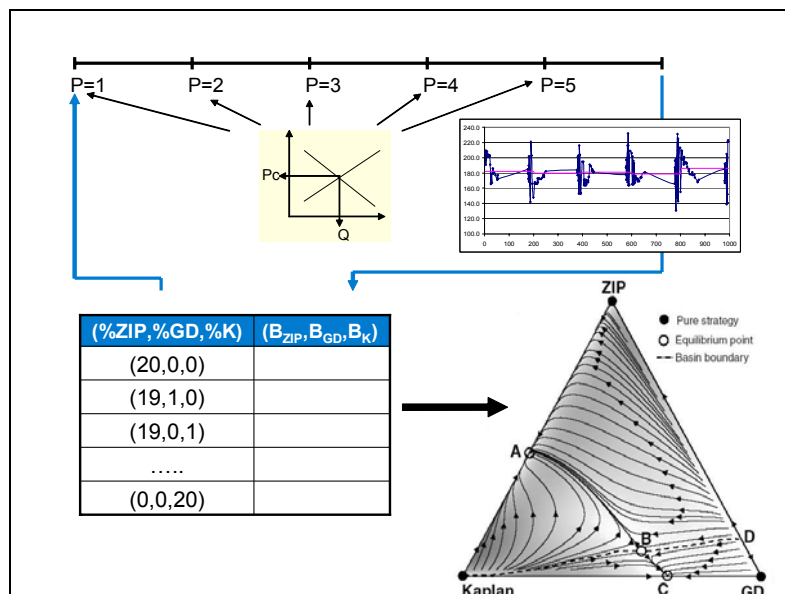
Un comprador hace su oferta de compra en función de las creencias y de su precio de reserva, adoptando una estrategia miope de maximizar la esperanza del excedente dada por:  $\Pi_b \cdot (\text{Precio de reserva} - b)$  donde  $\Pi_b$  es la función de creencias de que una licitación  $b$  sea aceptada. Esta función captura la intuición de que una oferta rechazada debería disminuir la creencia o la probabilidad de que esa oferta será aceptada más tarde y disminuye la creencia de que una oferta peor será aceptada. Dicha probabilidad se calcula mediante la siguiente expresión:

$$\hat{q}(b) = \frac{ABL(b) + AL(b)}{ABL(b) + AL(b) + RBG(b)}$$

donde  $ABL(b)$  es el número de licitaciones aceptadas menores o iguales que  $b$  en  $H$ ,  $H$  es el número de transacciones que el agente recuerda,  $AL(b)$  es el número de ofertas menores que  $b$  y  $RBG(b)$  es el número de licitaciones rechazadas mayores o iguales que  $b$  en  $H$ . Esta función es la misma para todos los agentes que juegan el *rol* de comprador ya que todos ellos disponen de la misma información.

#### 4. Aprendizaje Evolutivo en la subasta doble continua

Con estos tipos de agentes Walsh *et al.* (2001) se preguntaron qué combinación de estrategias conducirían a equilibrios de Nash. Para ello calcula una matriz de beneficios realizando simulaciones para cada proporción de estrategias y obteniendo los beneficios de cada grupo de agentes que siguen la misma estrategia. Es importante aclarar que los agentes no cambian de estrategia durante la simulación. Cuando hay 20 agentes encuentran dos equilibrios de Nash (puntos A y C) y un punto silla (Figura 2).



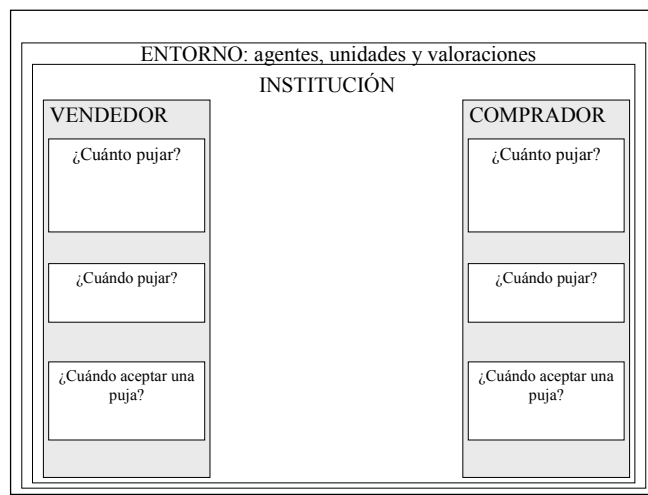
**Figura 2.** Dinámica en los cambios de proporciones de las estrategias en una CDA con 20 agentes

Sin embargo, en el trabajo anterior los agentes carecen de habilidad de adaptación para aumentar sus beneficios. Aprenden a decidir “cuánto pujar” pero no sobre la oportunidad de un cambio de estrategia. Cuando todos o casi todos los agentes siguen la estrategia de Kaplan se genera poca información y el mercado se vuelve muy poco eficiente.

Nuestro objetivo es diseñar agentes que hagan transacciones con altos beneficios y que sean robustos frente a las estrategias de sus competidores, incluyendo la de imitación de la propia estrategia. Para ello hemos desarrollado un agente que aprende a cambiar de una estrategia a otra durante el proceso de subasta a la vez que siguiendo una determinada estrategia aprende a decidir “cuánto pujar”.

Aunque la programación se puede realizar en cualquier lenguaje de programación orientado a objetos, nosotros utilizamos SDML. SDML es el acrónimo de *Strictly Declarative Modelling Language*. Es un lenguaje de programación orientado a objetos estrictamente declarativo, desarrollado<sup>2</sup> por el Centre for Policy Modelling, en la Manchester Metropolitan University, para facilitar y flexibilizar el modelado multiagente de las organizaciones.

Para programar en SDML es necesario definir la estructura multiagente del modelo (Figura 3). De esta forma, SDML recoge “*de oficio*” los criterios que se reconocen como imprescindibles en el diseño de experimentos en economía: entorno, institución y comportamiento de los agentes. Estas tres dimensiones de todo experimento de mercado son esenciales para distinguir el aprendizaje social del individual.



**Figura 3.** Elementos de cualquier economía

Nuestro modelo está compuesto por cuatro tipos de agentes (Figura 4): el entorno (al que hemos llamado *EnvironmentAgent*), la Institución (*InstitutionAgent*), los vendedores (*SellerAgent*) y los compradores (*BuyerAgent*). Estos últimos heredan de tres tipos de agentes que se corresponden con las tres posibles estrategias de comportamiento: agentes GD (*GDBuyerAgent*), agentes Kaplan (*KBuyerAgent*) y agentes ZIP (*ZIPBuyerAgent*). De la misma forma, se definen las estrategias para los vendedores.

Un agente se plantea<sup>3</sup> cambiar de estrategia si sus beneficios han disminuido respecto al periodo anterior. El agente toma la decisión de cambiar, o no, de estrategia preguntándose si hubiera conseguido mayores beneficios siguiendo otra estrategia. Un comprador evalúa las transacciones que ha realizado. Tanto en las que desempeñó un papel activo, tomando la iniciativa de hacer la puja, como aquellas en las que jugó un papel pasivo, aceptando la puja hecha por un vendedor.

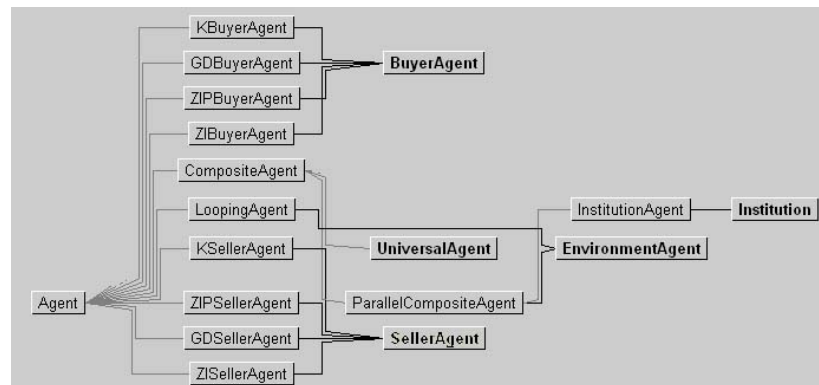
En el primer caso existen tres situaciones posibles: (1) si la puja de la estrategia alternativa fuera menor que el precio de transacción mínimo de ese periodo, el comprador puede suponer que ningún vendedor la hubiera aceptado; (2) si la puja de la estrategia alternativa fuera

<sup>2</sup> Está disponible de forma gratuita en <http://www.cpm.mmu.ac.uk/sdml>

<sup>3</sup> El comportamiento se describe declarativamente utilizando reglas de producción. Las reglas de producción son instrucciones del tipo *SI se dan condiciones ENTONCES se producen consecuencias*. Las reglas están construidas de acuerdo a una lógica de segundo orden y permiten realizar inferencias a lo largo de la simulación, a partir del conocimiento acumulado.

menor que la puja hecha, pero mayor que el precio de transacción mínimo de ese periodo, el comprador supone que la puja hubiera sido aceptada y que habría conseguido mayores beneficios; y (3) si la puja de la estrategia alternativa fuera mayor la puja hecha, conseguiría menores beneficios.

En el segundo caso sólo hay dos situaciones: (1) si la puja de la estrategia alternativa fuera menor que la oferta de venta, el comprador no podría haberla aceptado y no habría obtenido ningún beneficio; y (2) si la puja de la estrategia alternativa fuera mayor que la oferta de venta, habría conseguido los mismos beneficios independiente del valor de la puja.



**Figura 4.** Jerarquía de tipos del modelo

## 5. Resultados

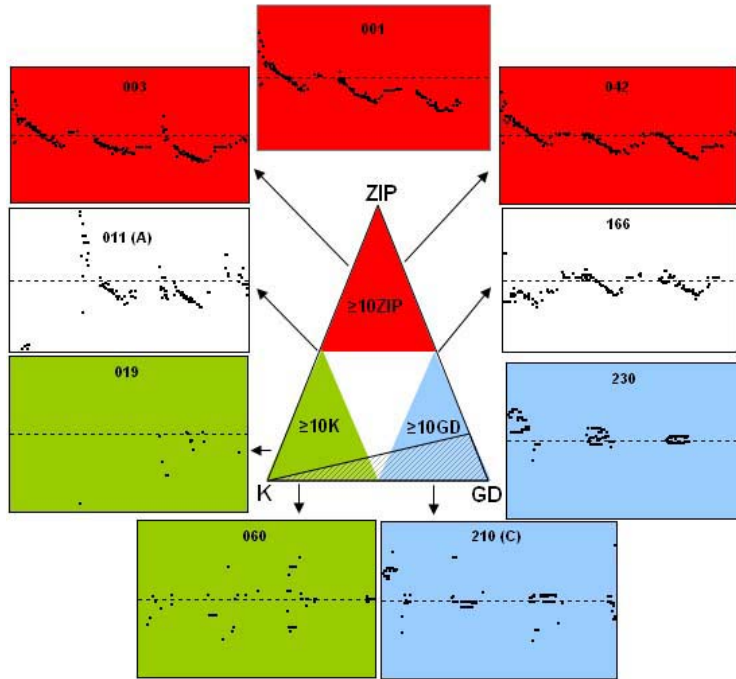
Hemos realizado varias simulaciones con la misma población: 10 compradores y 10 vendedores, cada uno de los cuales puede negociar 10 unidades. Al principio de la simulación se asigna un comportamiento (GD, K o ZIP) a cada uno de ellos. Los agentes tienen una valoración diferente para cada una de las 10 unidades. Hemos diseñado un entorno en el que todos los agentes tienen el mismo excedente para evitar que existan ventajas competitivas entre los diferentes tipos de agentes.

Se han simulado dos escenarios. En el primero los agentes no cambian el tipo de comportamiento. Nuestro objetivo de recoger el aprendizaje individual en la decisión de “cuánto pujar” de cada estrategia. En el otro, los agentes cambian de estrategia durante el proceso de subasta con el objetivo de aumentar los beneficios. Este objetivo individual se traduce en un aumento de la eficiencia del mercado.

En la figura 5 observamos los precios de las transacciones en 3 periodos<sup>4</sup> cuando los agentes no cambian de estrategia. En el triángulo se recogen las 231 combinaciones de las 3 estrategias cuando hay 20 agentes. Distinguimos tres zonas: en la zona roja están aquellas proporciones con más de 10 agentes de tipo ZIP, en la zona azul están aquellas proporciones con más de 10 agentes de tipo GD y en la zona verde están aquellas proporciones con más de 10 agentes de tipo K. Las figuras alrededor del triángulo nos muestran los precios de las transacciones para diferentes proporciones. Existe una gran diferencia en el patrón de los precios cuando más de la mitad de los agentes son del tipo ZIP (001, 003 y 042) con respecto a que sean del tipo GD (230 y 210). Mientras que cuando más de la mitad de los agentes son del tipo K, prácticamente no se realizan transacciones (019 y 060).

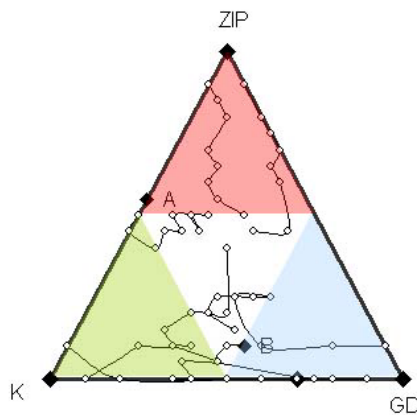
<sup>4</sup> Un periodo tiene 100 rondas.





**Figura 5.** Precios de transacciones cuando los agentes no cambian de comportamiento

Cuando los agentes cambian de estrategia, además de aprender a tomar la decisión de “*cuánto pujar*”, se consigue un aumento de la eficiencia. Lo que por otra parte no sorprende porque se ha aumentado la flexibilidad y capacidad de adaptación de los agentes. En la figura 6 representamos la dinámica del cambio de estrategia durante 10 periodos de algunas simulaciones. Nosotros no obtenemos dos puntos de equilibrio como sino Walsh *et al.* (2001), sino una zona. Independiente de la proporción de la combinación de estrategias iniciales de partida, la combinación final de estrategias se encuentra en la zona blanca.



**Figura 6.** Dinámica del cambio de estrategia

De este modo recogemos el aprendizaje evolutivo que es genérico en todo tipo de subastas y en particular en la subasta doble continua.

## 6. Conclusiones

El diseño de subastas es un ámbito de la microeconomía que, siendo tan antiguo como los mercados mismos, no figura ni siquiera en los libros convencionales de microeconomía con alguna excepción. La posibilidad de escenarios virtuales de subastas como internet han aumentado el interés, tanto académico como práctico, por entender mejor el funcionamiento y la eficiencia de los numerosos tipos de subastas.

De entre estas, una de las más importantes es la CDA en la que se realizan intercambios de *commodities*, productos no almacenables, opciones, etc. El estudio de su funcionamiento y eficiencia desde teoría de juegos se ha mostrado completamente insuficiente. La economía experimental ha ayudado a entender mejor este tipo de intercambios. Sin embargo, es muy difícil asegurar con agentes reales el control de los experimentos. De ahí que las investigaciones se orienten cada vez más con agentes controlados con agentes *soft*, más allá de la Economía Experimental.

En este trabajo hemos probado cómo la eficiencia relativa de CDA depende fuertemente de la selección evolucionista de las estrategias de los agentes, así como de la variedad y del tipo de agentes. No hemos encontrado una combinación que sea equilibrio de Nash sino una zona de concentración.

## Referencias

- Cliff, D. y Bruten, J. 1997. Zero is not enough: On the lower limit of agent intelligence for continuous double auction markets. HP Laboratories, Bristol, England.
- Gode, D y Sunder, S. 1993. Allocative Efficiency of Market with Zero-Intelligent Traders: Market as a Partial Substitute for Individual Rationality, *J. of Political Economy*, 101
- Gjerstad, S. y Dickhaut, J. 1998. Price Formation in Double Auctions. *Games and Economic Behavior*, 22, pp. 1-29.
- Hernández Iglesias, López-Paredes A. 1999. Beyond Experimental Economics. Trading institutions and multiagent systems. Proceedings of the 5th I. C. of the Society for Computational Economics. [http:// ideas.uquam.ca/ideas/data/papers/scescec91351.html](http://ideas.uquam.ca/ideas/data/papers/scescec91351.html).
- López-Paredes A. 2004. *Ingeniería de los Sistemas Sociales. Diseño, modelado y simulación de sociedades artificiales de agentes*. Servicio de Publicaciones de la U. de Valladolid.
- López-Paredes A., Hernández C., Pajares J. (2002). Towards a New Experimental Socio-economics. Complex Behaviour in Bargaining. *Journal of Socioeconomics* 31, 423-429.
- Pajares, J, Pascual, J.A., Hernandez, C. López-Paredes A. 2003. A behavioral, evolutionary and generative framework for modelling financial markets. En *The First European Social Simulation Association Conference, ESSA'03*. Holanda
- Smith, V. L. 1992. *Papers in Experimental Economics*, Cambridge University Press.
- Rust, J. Miller, J. y Palmer, R. 1993. Behavior of trading automata in computerized double auctions. En Friedman y Rust eds. *The double auction markets: Institutions, Theories and Evidence*. Addison-Wesley
- Tesauro, G. y Das, R. 2001. High performance bidding agents for the continuous double auction. En *third ACM Conference on Electronic Commerce*.
- Walsh, W. E. Walsh, R. Das, G. Tesauro and J. O. Kephart (2002). Analyzing Complex Strategic Interactions in Multi-Agent Games. En *8th C. on Artificial Intelligence*, Canada.