

Diagnóstico del funcionamiento y de la dinámica de precios de derechos de emisión de SO₂. Una aproximación basada en agentes.

Marta Posada Calvo¹, Cesáreo Hernández Iglesias¹, Adolfo López Paredes¹

¹ Dpto. de Organización de Empresas y C.I.M. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales, 47011 Valladolid. posada@eis.uva.es, cesareo@eis.uva.es, adolfo@insisoc.org

Resumen

Muchos países han diseñado mercados de permisos de emisión para resolver los problemas de contaminación ambiental que conlleva el crecimiento económico. En este trabajo analizamos, desde una aproximación basada en agentes, la primera subasta de la Agencia de Protección Ambiental (EPA) de Estados Unidos. Desafortunadamente, el diseño de las reglas de intercambio de esta subasta hace que los agentes tengan incentivos para comportarse de forma estratégicamente ineficiente. Los trabajos realizados hasta la fecha tratan de modelar este comportamiento utilizando la teoría de juegos. Nuestro trabajo basado en agentes amplía estos estudios previos. Nuestro objetivo es modelar el comportamiento de los agentes en condiciones de información incompleta considerando que los agentes de ambos lados se comportan estratégicamente, maximizando su beneficio esperado. En concreto, con nuestra aproximación hubiésemos podido predecir el fracaso de la subasta de la EPA.

Palabras clave: Diseño de mercados. Medioambiente. Doble subasta. Derechos de emisión.

1. Introducción: antecedentes y objetivos

Los mercados de derechos de contaminación son mercados en los que se compra y se vende el derecho a contaminar. Para poder diseñarlos debe quedar claro qué contaminantes se van a negociar (SO₂, NO_x o CO₂), cuales son las actividades económicas que los generan y qué empresas se verán afectadas por la regulación. Las diferencias entre los programas de control de las emisiones de SO₂ y NO_x, y de CO₂ están relacionadas con los diferentes impactos ambientales que ocasionan. El daño ambiental de las primeras (SO₂, NO_x) se limita a un área geográfica mientras que el CO₂ tiene un ámbito internacional. Por esta razón, la aplicación del Protocolo de Kyoto es a nivel global.

Las transacciones en los mercados de contaminación se pueden restringir a las empresas afectadas, ampliar a los grupos de interés o a todo el mundo. Cuando los grupos ecologistas pueden participar en el mercado, compran derechos para retirarlos de la circulación y fuerzan una reducción de la contaminación mayor que la establecida inicialmente. En caso de no ser así, se obtiene el mismo resultado en cuanto a reducción de la contaminación que con la prohibición legal de emitir por encima de un determinado límite. La diferencia radica en los costes en los que incurren las empresas para reducir su contaminación. Si esta diferencia entre empresas es grande el mercado puede propiciar un ahorro considerable de recursos (Tietenberg 1985, 2006).

En nuestra contribución al CIO 2004 (Posada *et al.* 2004), establecíamos los principios para el diseño de mercados de forma eficiente. Señalábamos que, de acuerdo con Smith (1992), en todo diseño de un experimento de mercado bien hecho deben distinguirse claramente los elementos esenciales siguientes: *la institución* (reglas de intercambio, contratos, lenguajes y sistemas de comunicación), *el entorno* (número de agentes, dotaciones, valoraciones y capacidades de conocimiento, que conforman la composición de la oferta y la demanda), *el comportamiento de los agentes* y, naturalmente, *los resultados* (en términos de eficiencia y dinámica de precios).

Las reglas de intercambio de los mercados de contaminación varían de unos a otros pero en todos ellos, tanto compradores como vendedores desempeñan un papel activo haciendo ofertas de compra y venta, respectivamente. Este tipo de subastas se conoce como subastas dobles. Los dos extremos de subasta doble son: la subasta doble en sobre cerrado (*call market* o *clearing house, CH*) y la subasta doble continua (*continuous double auction, CDA*). Existen muchas diferencias entre ellas, pero la diferencia clave es la presencia activa o pasiva del subastador en las transacciones. La forma de fijar el precio al que tienen lugar las transacciones (al precio medio de la última transacción, al precio medio de cada transacción, al precio de las ofertas de compra, etc.) hace que existan varios tipos de subastas dobles en sobre cerrado.

Las subastas dobles, en general, no están teóricamente bien entendidas utilizando la teoría de juegos. La mayor parte del análisis del comportamiento de los agentes en estas subastas se ha obtenido de los experimentos en el laboratorio (Smith, 1992). La mayoría de estos trabajos se han centrado en la convergencia de los mercados competitivos, la influencia del mecanismo de intercambio en el equilibrio alcanzado y en la rapidez con la que se alcanza dicho equilibrio.

Hernández y López (1999) destacan la relevancia de poder trabajar con agentes artificiales porque, a diferencia de la economía experimental con agentes humanos, podemos controlar esa tercera componente, el comportamiento de los agentes, salvando así la principal debilidad de la Economía Experimental en la que el comportamiento de los agentes no es controlable (*beyond Experimental Economics*). Por esta razón distinguir claramente las tres dimensiones (entorno, institución y comportamiento de los agentes) en el modelado de un mercado desde la aproximación basado en agentes es, incluso, más importante que hacerlo en economía experimental.

En Posada *et al.* (2005a y b) aplicábamos este diseño al diagnóstico y previsión de precios en el naciente mercado de derechos de emisión español, que es esencial a su vez para mejorar la eficiencia del correspondiente mercado eléctrico español supuestamente des-regulado. Demostrábamos la precisión de nuestras previsiones de precios en comparación con las que proceden de modelos econométricos y la coincidencia con los precios ya observados en un mercado en funcionamiento como el alemán.

En esta ponencia nos proponemos completar los trabajos anteriores (Posada *et al.* 2004, 2005a, 2005b y 2005c) demostrando que la aproximación ABM (*Agent Based Modelling*) hubiese podido predecir el fracaso de la subasta de la EPA (*Environment Protection Agency* de Estados Unidos) y pone de manifiesto la necesidad de contrastar toda propuesta mecanicista de mercados con una simulación basada en agentes previa.

Este trabajo está organizado de la siguiente forma. En la sección 2 resumiremos estudios teóricos y experimentales previos de la subasta de la EPA. Mostraremos porqué es interesante su estudio y el motivo por el que lo hacemos desde el modelado basado en agentes. En la sección 3 describimos nuestro modelo en base a las tres dimensiones (entorno, institución y comportamiento de los agentes). En la sección 4 analizamos los resultados de las simulaciones y, en la sección 5 proponemos las dimensiones que hay que tener en cuenta para mejorar la eficiencia de estos mercados. Finalmente, las conclusiones.

2. La experiencia de la EPA

En 1990 se creó en Estados Unidos el primer mercado para el intercambio de permisos de contaminación bajo el programa de protección medioambiental de la Agencia de Protección Ambiental (EPA) para las emisiones de SO₂ de las empresas eléctricas.

Las reglas de intercambio de esta subasta eran algo peculiares. Las oferta de compra y de venta se hacen en un sobre cerrado, todas a la vez. Las ofertas de compra se ordenan de mayor a menor mientras que las ofertas de venta se ordenan de menor a mayor. La mayor oferta de compra se empareja con la menor oferta de venta y el precio al que tiene lugar el intercambio es el precio de la oferta de compra. Los emparejamientos se suceden mientras haya una oferta de venta inferior a una oferta de compra. El motivo de establecer el precio de cada transacción de esta forma tan peculiar era beneficiar a las empresas *limpias* (que venden los permisos de contaminación) con el objetivo de conseguir una industria menos contaminante. Sin embargo, esto fue precisamente la causa del fallo de esta subasta.

Se han hecho esfuerzos por modelar analíticamente el comportamiento de los agentes en esta subasta. Sin embargo, los resultados de estos trabajos previos han sido pobres incluso bajo simplificaciones extremas acerca del comportamiento de los agentes o de la información sobre las valoraciones de los mismos. En la tabla 1 hemos resumido las diferencias entre las simplificaciones de los diferentes trabajos.

Tabla 1. Hipótesis sobre la información y el comportamiento de los agentes.

	Cason (1993)	Kline (1999)	Nuestra aportación
Entorno	Información incompleta	Información completa	Información incompleta
Comportamiento de compradores (oferta de compra)	Precio de reserva	Maximiza la esperaza de beneficio	Maximiza la esperaza de beneficio
Comportamiento de vendedores (oferta de venta)	Maximiza la esperaza de beneficio	0	Maximiza la esperaza de beneficio

Cason (1993) considera que sólo los vendedores se comportan estratégicamente tratando de maximizar sus beneficios esperados, calculados como la ganancia obtenida como consecuencia de una oferta de compra por la probabilidad de que esa oferta de compra sea aceptada. Calcula la probabilidad basándose en el trabajo de Vickrey (1961). Este primer análisis de esta subasta mostró que los vendedores tienen incentivos para pujar por debajo de sus costes marginales. Posteriores experimentos de laboratorio con agentes humanos confirman estos resultados (Cason y Plott, 1996).

Sin embargo, no hay razón para suponer que en la vida real o en los experimentos en el laboratorio los compradores revelen su propia valoración a la hora de hacer su oferta de

compra ya que, como la transacción se realiza al precio de la oferta de compra, no obtendrían beneficios.

Kline y Menezes (1999) consideran que ambos lados del mercado se comportan estratégicamente. Pero para poder obtener algún resultado sobre el precio de equilibrio del mercado deben presuponer que los vendedores harán sus oferta de venta a un precio cero y, además, que todos los agentes conocen las valoraciones de los demás (información completa).

Al igual que antes, no hay razón para suponer que en la vida real o en los experimentos en el laboratorio los vendedores hacen siempre sus ofertas a precio 0. Los compradores, que observan este comportamiento, podrían aprovecharlo al hacer sus ofertas de compra llevando a los vendedores a situaciones permanentes de pérdidas y sin posibilidad de reacción.

Por esto, este ejemplo es una estupenda oportunidad para ilustrar cómo el modelado basado en agentes nos permite obtener resultados de precios sin presuponer que el comportamiento de los vendedores es uno determinado (hacer ofertas de venta a precio cero) considerando, además, que la información no es completa (cada agente conoce solamente su propia valoración) como ocurre en la vida real o en los experimentos de laboratorio de Cason y Plott (1996).

3. Modelado basado en agentes de la subasta de la EPA

Describiremos el modelo en términos de las dimensiones esenciales señaladas por Smith (1992) para el diseño de un experimento de mercado: institución, entorno y comportamiento de los agentes. Las interacciones entre ellas en la subasta de la EPA son sencilla (ver tabla 2).

Tabla 2. Interacciones en la subasta de la EPA
(los agentes de las filas envían la información y los agentes de las columnas la reciben)

Recibir Enviar	Entorno	EPA	Comprador -_j	Comprador - -_k	Vendedor - -_i	Vendedor - -_k
Entorno	<i>eficiencia</i>		<i>PR</i>	<i>PR</i>	<i>CMA</i>	<i>CMA</i>
EPA			<i>Precio</i>	<i>Precio</i>	<i>Precio</i>	<i>Precio</i>
Comprador-_j	<i>beneficios</i>	<i>Oferta de compra</i>	<i>beneficios</i>			
Comprador-_k	<i>beneficios</i>	<i>Oferta de compra</i>		<i>beneficios</i>		
Vendedor-_i	<i>beneficios</i>	<i>Oferta de venta</i>			<i>beneficios</i>	
Vendedor -_k	<i>beneficios</i>	<i>Oferta de venta</i>				<i>beneficios</i>

3.1. El entorno

Un agente-*i* puede vender *n* permisos cuyas valoraciones son ($CMA_{i1}, CMA_{i2}, \dots, CMA_{in}$) donde CMA_{i1} es el coste marginal de reducción de la primera unidad para la empresa *i*. Aquellas empresas con costes marginales de menores (empresas limpias) tienen la posibilidad de reducir la contaminación más que la cantidad que les ha sido asignada para vender el exceso de permisos en el mercado. A aquellas empresas que tienen unos costes marginales mayores (empresa contaminantes) les resulta más rentable comprar en el mercado los permisos necesarios para cubrir sus emisiones que tomar medidas para reducir la contaminación.

Al principio de la simulación se envían las valoraciones a las empresas (fila 1). Las funciones de oferta y demanda se obtienen por agregación de los mismos. Su intersección es el precio de equilibrio competitivo.

Al final de la simulación se calcula la eficiencia como el ratio entre los beneficios obtenidos en los intercambios y los excedentes teóricos (primera celda de la fila 1)

3.2. La institución

Los agentes hacen las ofertas todos a la vez (segunda columna). Se casan las ofertas de acuerdo a las reglas de la subasta de la EPA y se envían los precios de las casaciones a los agentes (fila segunda).

3.3. El comportamiento de los agentes

Los agentes en esta subasta se enfrentan solamente a la decisión: ¿cuánto pujar?. Hemos considerado que las empresas juegan un papel fijo (el de comprador o el de vendedor) de acuerdo con los trabajos previos (Cason 1993, Kline y Menezes 1999). Nuestros agentes, tanto compradores como vendedores, toman esta decisión tratando de maximizar sus beneficios esperados, definidos éstos como la ganancia obtenida como consecuencia de una oferta por la probabilidad de que esa oferta sea aceptada.

Hasta ahora (Cason 1993, Kline y Menezes 1999), sólo se había dado la posibilidad de comportarse estratégicamente a un lado de mercado. Esto facilitaba el cálculo de la probabilidad de que una oferta fuese aceptada, la cual se calculaba como la probabilidad de que la oferta de un agente sea mayor que el resto de ofertas. Nosotros calculamos esa probabilidad basándonos en el trabajo de Gjerstad y Dichaut (1998) que se basa en la observación del mercado. Para generar datos de mercado en el primer periodo, los agentes hacen sus pujas de forma aleatoria sin ningún tipo de restricción respecto a los beneficios (Gode y Sunder 1993).

Los compradores calculan la oferta de compra que maximiza la siguiente función (1):

$$\max \hat{B}(b) = \max \Pi_b (PR - b), \quad (1)$$

donde PR es su precio de reserva, b es la oferta de compra y Π_b es la función de creencias de la probabilidad que tiene cada oferta de compra b de ser aceptada. Esta probabilidad se calcula, teniendo en cuenta las ofertas de compra aceptadas inferiores a un valor b , las ofertas de venta aceptadas y rechazadas inferiores a ese valor y las ofertas de compra rechazadas mayores que ese valor, de acuerdo con la siguiente fórmula (2):

$$\hat{q}(b) = \frac{ABL(b) + AL(b)}{ABL(b) + AL(b) + RBG(b)}. \quad (2)$$

La idea que subyace en este proceder es que las ofertas de compra altas tienen alta probabilidad de ser aceptadas pero las ganancias que reportan son pequeñas, mientras que las ofertas de compra bajas tienen baja probabilidad de ser aceptadas pero las ganancias serían mayores (figura 1).

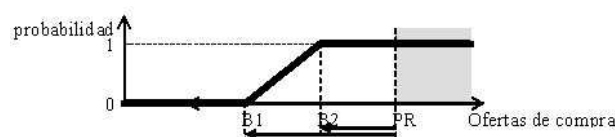


Figura 1. Función de creencias de los compradores, Π_b .

Los vendedores calculan la oferta de venta que maximiza la siguiente función (3):

$$\max \hat{B}(a) = \max \Pi_a(\hat{p} - CMa), \quad (3)$$

donde CMa es el coste marginal, \hat{p} es el precio al que se estima se hará la transacción, el cual se estima como la media de los ofertas de compra con las que la oferta de venta a ha sido emparejada en el pasado, y Π_a es la función de creencias de la probabilidad que tiene cada oferta de venta a de ser aceptada. Esta probabilidad se calcula, teniendo en cuenta las ofertas de venta aceptadas mayores que un valor a , las ofertas de compra aceptadas y rechazadas mayores que ese valor y las ofertas de venta rechazadas inferiores a ese valor, de acuerdo con la siguiente fórmula (4):

$$\hat{q}(a) = \frac{AAG(a) + BG(a)}{AAG(a) + BG(a) + RAL(a)}. \quad (4)$$

La idea que subyace a este proceder es que las ofertas de venta bajas tienen alta probabilidad de ser aceptadas pero las ganancias que reportan son pequeñas, mientras que las ofertas de venta altas tienen baja probabilidad de ser aceptadas pero las ganancias serían mayores.

4. Resultados de las simulaciones

Consideramos 20 empresas, cada una con 10 permisos. Las valoraciones de los vendedores se han generado mediante una distribución uniforme $[0,10]$ y las valoraciones de los compradores mediante una distribución uniforme $[20,30]$. Los agentes en el primer periodo generan ofertas mediante una distribución uniforme $[0,40]$.

Examinamos los precios de las transacciones que ocurren en el mercado y el número de vendedores que pujan por debajo de sus costes marginales en los siguientes tres escenarios:

1. Una industria equilibrada respecto al número de compradores y vendedores (10 compradores y 10 vendedores).
2. Una industria limpia donde el número de vendedores es mayor que el número de compradores.
3. Una industria contaminante donde el número de compradores es mayor que el número de vendedores.

En los tres escenarios, y cómo explicamos a continuación, las reglas de intercambio de la EPA crean grandes incentivos para que los vendedores pujen por debajo de sus costes marginales y fuerzan a que, en general, las transacciones se realicen a precios inferiores al precio de equilibrio competitivo y, como consecuencia, al fallo de esta subasta.

4.1. Industria equilibrada

En la figura 2 representamos el precio de las transacciones realizadas en cada periodo en las 30 simulaciones. Hemos representado el precio medio de equilibrio competitivo con una línea rosa y el precio medio de las transacciones realizadas en cada periodo con un punto rosa. Observamos que el precio medio de las transacciones y la mayoría de las mismas se hacen a un precio inferior al precio medio de equilibrio competitivo. Más aún, la mayoría de las transacciones se realizan en el rango de los costes marginales de los vendedores, esto es, en el rango $[0, 10]$



Figura 2. Transacciones en una industria equilibrada (10 vendedores y 10 compradores).

4.2. Industria limpia

Cuando hay más vendedores que compradores (esto es, en un industria más limpia), todos los compradores pueden cubrir su demanda. Esto mismo ocurría en la industria equilibrada por causa de la definición de los intervalos de las valoraciones. Las ofertas de compra en un industria limpia son similares, aunque ligeramente inferiores sobre todo en los últimos periodos, a las ofertas de compra en un industria equilibrada. Estas ofertas se encuentran en el rango $[0,10]$. Sin embargo, como ahora el precio medio de equilibrio competitivo es más bajo, se realizan transacciones por encima y por debajo de este (no sólo por debajo). No obstante, el precio medio de las transacciones sigue estando por debajo del precio medio de equilibrio competitivo.

En la figura 3 comparamos dos industrias limpias, una (con 16 vendedores y 4 compradores) más limpia que otra (con 13 vendedores y 7 compradores) con el objetivo de evaluar la influencia de la competición entre vendedores en los resultados obtenidos. Observamos que el exceso de participantes en un lado del mercado sobre el otro no es crucial.

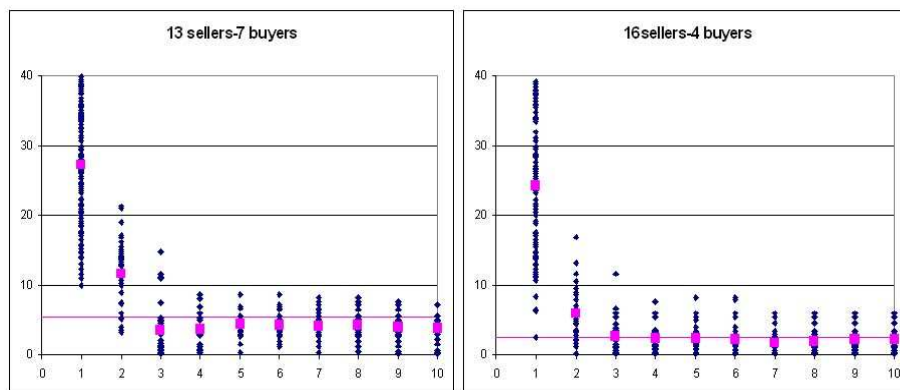


Figura 3. Transacciones en una industria limpia (más vendedores que compradores).

Nótese por otra parte que la competencia entre vendedores influye en la proporción de vendedores que hacen sus ofertas de compra por debajo de costes. La tabla 2 nos permite comparar el porcentaje de vendedores que hacen sus ofertas por debajo de sus costes, para los percentiles 50 y 75, en cada uno de los tres escenarios. En las industrias limpias se da el mayor porcentaje de ofertas de venta por debajo de los costes porque es donde mayor competencia existe entre vendedores.

Tabla 2. Porcentaje de vendedores que hacen sus ofertas por debajo de sus costes (percentiles 50 y 75).

Periodo ¹	percentil 50=mediana			percentil 75		
	Industria Contaminante 7 vendedores-13 compradores	Industria equilibrada 10 vendedores-10 compradores	Industria Limpia 13 vendedores – 7 compradores	Industria Contaminante 7 vendedores-13 compradores	Industria equilibrada 10 vendedores-10 compradores	Industria Limpia 13 vendedores – 7 compradores
2	64.3%	45.0%	61.5%	71.4%	67.5%	70.5%
3	57.1%	20.0%	61.5%	82.1%	70.0%	84.6%
4	0	0	11.5%	0	30.0%	23.1%
5	0	0	15.4%	0	17.5%	67.3%
6	0	0	46.2%	0	47.5%	92.3%
7	78.6%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%
8	92.9%	70.0%	69.2%	100.0%	90.0%	92.3%
9	92.9%	45.0%	53.8%	100.0%	80.0%	82.7%
10	92.9%	30.0%	42.3%	100.0%	57.5%	67.3%

4.1. Industria contaminante

Sin embargo, si más hay más compradores que vendedores (esto es, en un industria más contaminante) es solamente en los últimos periodos cuando los vendedores hacen sus ofertas por debajo de sus costes.

En la figura 4 comparamos dos industrias contaminantes, una (con 16 compradores y 4 vendedores) más contaminante que la otra (con 13 compradores y 7 vendedores) con el objetivo de comparar situaciones análogas respecto a los precios entre industrias limpias e industrias contaminantes. Las ofertas de compra, y por tanto los precios de las transacciones, en una industria contaminante son más altos que en las industrias limpias. Aunque no llegan a ser tan altos como para situarse en el rango de los compradores. Ahora observamos que el exceso de participantes en un lado del mercado sobre el otro es crucial. La competencia entre compradores hace que aumenten los precios de las transacciones. Estos se encuentran siempre por debajo del precio medio de equilibrio competitivo aunque éste aumente con el exceso de demanda. La razón es que las reglas de intercambio de la EPA tienen un tratamiento diferente para compradores que para vendedores.

Resulta curioso observar en la tabla 2 que a pesar de esto los vendedores siguen haciendo ofertas por debajo de sus costes, sobre todo en los últimos periodos. El motivo ya no hay que buscarlo en la competencia por vender si no en la competencia por emparejarse con la oferta de compra más alta.

¹ Hemos eliminado el periodo 1 porque en este periodo los agentes no se comportan estratégicamente ya que hacen sus pujas de forma aleatoria.

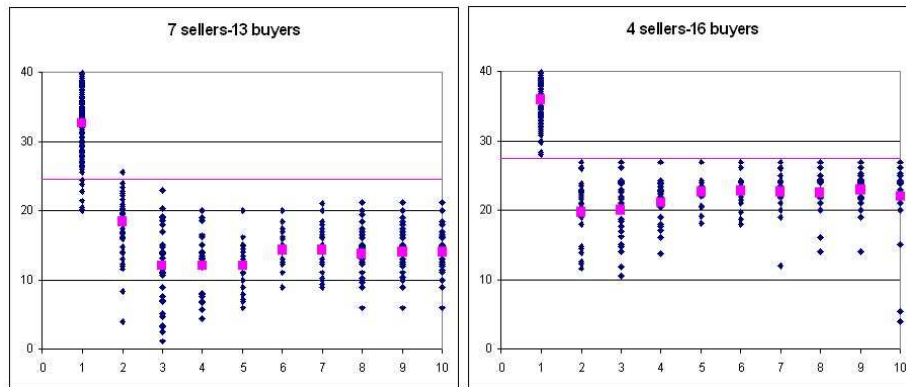


Figura 4. Transacciones en una industria contaminante (más compradores que vendedores).

5. Cómo mejorar los resultados del mercado

El objetivo de esta sección se analizar cómo mejorar la eficiencia de los mercados de permisos de contaminación. A la vista de los resultados anteriores, la primera conclusión es que la institución (esto es, las reglas de intercambio del mercado) importa. Esta misma ha sido la conclusión de la investigación en el campo de la economía experimental. Una institución como la subasta doble continua, en la que tanto compradores como vendedores pueden hacer ofertas o aceptar las ya hechas en cualquier momento, sería más eficiente dado que la liquidez de estos mercados es alta.

No sólo la institución importa, como vemos también es relevante el comportamiento estratégico que suponemos en los agentes. Diseñar una adecuada estrategia de comportamiento es también importante. En Posada *et al.* (2005) demostramos cuanto mayor es la capacidad de aprender de los agentes mejores resultados obtienen.

6. Conclusiones

La introducción de permisos de emisión puede contribuir a conseguir los objetivos de contaminación ambiental al menor coste posible y a mejorar la eficiencia del sector energético. El fallo de la subasta de la EPA nos ha mostrado que necesitamos entender mejor el comportamiento de los agentes en estos mercados. Aun a pesar de las grandes simplificaciones hechas respecto al comportamiento estratégico o la información disponible, la teoría de juegos no ha podido modelar con éxito el comportamiento de los agentes en esta subasta. Nosotros, sin embargo, demostramos que se hubiese podido predecir el fracaso de la subasta de la EPA. Para ello hemos hecho una simulación basada en agentes en el supuesto muy lógico de que los agentes de ambos lados del mercado se comportan estratégicamente tratando de maximizar sus beneficios esperados, en condiciones de información incompleta.

Nuestros resultados confirman la afirmación hecha desde la economía experimental de que las reglas de intercambio del mercado juegan un papel crucial en el diseño de mercados eficientes. Pero también es relevante la capacidad de aprendizaje de los agentes. En este sentido queda abierto el interrogante de si existe otras formas de aprendizaje razonables que hubiesen podido predecir el fracaso de la EPA.

No podríamos concluir este trabajo sin señalar la relevancia que tiene en Ingeniería de Organización. No solo el uso de agentes es útil para el diseño de mercados sino que, dado que este diseño en lo esencial responde a los principios de escasez y deseo (*scarcity and want*), resulta que la dinámica de precios observada es exportable a la propia Inteligencia Artificial

(programación orientada a mercados), definiendo así agentes *situados* y reconvirtiendo los problemas típicos en que tratamos de asignar recursos escasos con valoraciones (secuenciación, *yield management*, cadena de suministro, efecto látigo, juego de la cerveza, etc.) en un diseño de mercado tipo subasta.

Agradecimientos

Este trabajo se deriva de la participación de sus autores en un proyecto de investigación financiado por el MEC con referencia DPI2005-05676, titulado “Simulador basado en agentes para la gestión del agua en espacio metropolitano”.

Referencias

- Cason, T. (1993). “Seller incentive properties of EPA’s emission trading auction”. *Journal of Environmental Economics and Management* 25, 177-195.
- Cason, T., Plott, C. (1996). “EPA’s new emissions trading mechanism: A laboratory evaluation”. *Journal of Environmental Economics and Management* 30, 133-160.
- Gjerstad, S., Dickhaut, J. (1998). “Price formation in double auctions”. *Games and Economic Behavior*, 22, 1-29.
- Gode, D., Sunder, S., (1993). “Allocative efficiency of market with zero-intelligent traders: Market as a partial substitute for individual rationality”. *Journal of Political Economy*, 101, 119-137.
- Hernández, C. y López, A. (1999). Beyond experimental economics: Trading institutions and multiagent systems. Computing in Economics and Finance, *Fifth International Conference of the Society for Computational Economics*. <http://fmwww.bc.edu/cef99/papers/hernandez.pdf>
- Kline, J.J., Menezes, F.M., (1999). “A simple analysis of the US emission permits auctions”. *Economic Letters*, 65, 183-189.
- Posada, M., Hernández, C. y López, A. (2004). Aprendizaje evolutivo en la subasta doble continua. Un enfoque multiagente. *VIII Congreso de Ingeniería de Organización*, 111-120.
- Posada, M., Hernández, C., Sarmiento, R. y López A. (2005a). Las empresas eléctricas españolas ante el reto de Kyoto. Un modelo basado en agentes. *IX Congreso de Ingeniería de Organización*.
- Posada, M., Hernández, C. y López, A. (2005 b). Electricity and Emission Permits Auctions in Spain: an ABM Analysis. *Third Annual Conference of the ESSA*, 116-121.
- Posada, M., Hernández, C. y López, A. (2005 c). Learning in Continuous Double Auction. En: *Artificial Economics, Agent-Based Methods in Finance, Game Theory and Their Applications*. Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems 564, 41-51. Springer.
- Smith, V.L. (1992). *Papers in Experimental Economics*, Cambridge University Press, Cambridge.
- Tietenberg, T.H., (1985). “Emissions Trading: An Exercise in Reforming Pollution Policy”. *Resources for the Future*. Washington, DC.
- Tietenberg, T.H., (2006). Tradable Permits Bibliography, <http://www.colby.edu/personal/t/thtieten/trade.html>, (access date: January 2006).
- Vickrey, W. (1961), Counterspeculation, Auctions and Competitive Sealed-Bid, *Journal of Finance*, 16 (1), 8-37.