

Emergencia de normas espaciales de negociación en el juego de demanda de Nash

David Jesús Poza García¹, José Manuel Galán Ordax², José Ignacio Santos Martín²,
Adolfo López Paredes¹

¹ Grupo INSISOC. Dpto. de Organización de Empresas y CIM. Escuela de Ingenierías Industriales. Universidad de Valladolid. Pso del Cauce S/N, 47011 Valladolid. dpoza@gmail.com, adolfo@insisoc.org.

² Grupo INSISOC. Área de Organización de Empresas. Dpto. de Ingeniería Civil. Escuela Politécnica Superior. Universidad de Burgos. Edificio La Milanera, C/ Villadiego S/N, 09001 Burgos. {jmgalan, jisantos}@ubu.es.

Resumen

En este trabajo adaptamos y extendemos un modelo basado en agentes sobre el juego de demanda de Nash. En el modelo se distribuye espacialmente una población finita de agentes en las diferentes posiciones de una retícula regular bidimensional. Cada agente juega con agentes de su vecindad de Moore un juego 2x2 utilizando como estrategia la mejor respuesta a la estrategia más frecuente en su memoria. Analizamos mediante simulación los resultados del modelo introduciendo tags en los agentes de forma aleatoria y en otros escenarios donde aparecen algunos equilibrios diferentes al juego no espacial con interacción total entre la población.

Keywords: modelado basado en agentes, juego de demanda de Nash, teoría de juegos, negociación, segregación, tags, normas sociales *

1. Modelado basado en agentes y normas sociales

El modelado basado en agentes es una técnica de modelado caracterizada por la abstracción individual de las entidades que participan en un sistema objeto de estudio, como entidades computacionales – agentes– en un modelo computacional (Galán et al., 2009a; Izquierdo et al., 2008). La metodología es especialmente útil para definir no sólo los agentes, sino las interacciones entre ellos, permitiendo de este modo estudiar el comportamiento agregado – emergente– del sistema a partir de las reglas de comportamiento individual de los componentes del sistema.

La utilización de esta técnica para abstraer sistemas se ha popularizado en los últimos veinte años en prácticamente todos los dominios científicos, *e.g.* gestión de recursos naturales (López-Paredes and Hernández, 2008), biología (Alberts, 2009; Bryson et al., 2007), project management (Araújo Araúzo et al., 2009; Arauzo et al., 2009), gestión de agua doméstica (Galán et al., 2009b), pero su influencia ha sido particularmente relevante como herramienta de formalización en sistemas económicos y sociales, y por tanto de especial importancia en la Ingeniería de Organización (Hernández and López-Paredes, 1999; López-Paredes et al., 2002).

Una de las ideas que por su importancia han sido más estudiadas en las ciencias sociales en general (Coleman, 1990), y mediante modelado basado en agentes en particular (Axelrod, 1986; Galan and Izquierdo, 2005), es el rol que juegan las normas como mecanismos

* This work stems from the participation of the authors in research projects funded by the Spanish Ministry of Science and Innovation, reference TIN2008-06464-C03-02, by Caja Burgos, references 2009/00148/001 and 2009/00199/001, and by the Junta de Castilla y León, references VA006A009, BU034A08 and GREX251-2009

reguladores de determinados aspectos del comportamiento social, económico y organizacional de las poblaciones. Una vez establecidas, las normas actúan como mecanismos de autoreforzamiento del comportamiento. Su emergencia sin embargo, por lo general exenta de mecanismos explícitos de gobierno, es uno de los aspectos clave para entender el comportamiento informal de las organizaciones.

En este trabajo analizamos la emergencia de normas de distribución de la propiedad tanto de discriminación como de igualdad. Para nuestro análisis nos basamos en el juego de demanda de Nash, particularmente en el análisis mediante modelado basado en agentes del juego en una población finita efectuado por Axtell, Epstein y Young (2001). Mediante el estudio del comportamiento de los diferentes regímenes intermedios alcanzados en el juego, Axtell *et al* demuestran que pueden emerger espontáneamente normas de distribución autoreforzadas completamente diferentes a pesar de tener una población de agentes con las mismas reglas de comportamiento. De hecho, incluyendo etiquetas inicialmente sin significado – tags– y la posibilidad de los agentes de recordar el comportamiento previo del resultado del juego condicionado al tag, es posible demostrar que puede emerger endógenamente segregación.

El modelo de Axtell *et al* (a partir de aquí modelo AEY) no es solamente interesante en la Ingeniería de Organización por su capacidad para profundizar en el entendimiento de la evolución de las normas, sino que abstrayendo las interacciones en el modelo como oportunidades de negociaciones privadas y bilaterales entre agentes que pertenecen a diferentes grupos, el modelo permite analizar mercados que cumplen estas características como los mercados de ventas al por mayor de pescado, donde los precios son muy sensibles a factores externos que afectan a la cadena de suministro (Gallo, 2009).

Utilizando el modelo AEY como base, hemos generalizado el modelo incorporando reglas de decisión de los agentes que requieren de capacidades cognitivas incluso menores que las requeridas en el artículo original y produciendo segregación incluso con mayor frecuencia. También hemos incorporado en el análisis la influencia de la topología en los resultados del juego. Para ello, hemos incorporado la dimensión espacial en el juego introduciendo una estructura espacial regular.

El contenido del trabajo está organizado de la siguiente forma, en la siguiente sección explicamos brevemente el modelo AEY y las generalizaciones y modificaciones realizadas sobre él. A continuación resaltamos brevemente los resultados analizados en el escenario aleatorio y los tipos de equilibrio posibles alcanzados mediante simulación. En la sección final mostramos la configuración de otros escenarios en los que aparecen nuevos equilibrios diferentes al modelo original.

2. El modelo AEY

El modelo se basa en una población de n agentes que juegan de forma repetitiva un problema de negociación. Los agentes se emparejan de forma aleatoria en cada iteración, y en cada interacción tienen que tomar una decisión en el juego de demanda de Nash. Cada uno de los jugadores decide qué proporción desea de un “pastel” ficticio. Si la suma de las dos demandas no supera el total del pastel, cada agente obtiene la parte solicitada, si la suma es superior al total, los agentes no obtienen nada. Inicialmente, y por simplificar el análisis, los agentes tienen simplemente tres posibles decisiones: pedir poco (*Low*, 30%), pedir medio (*Medium*, 50%) o pedir mucho (*High*, 70%) (en Poza *et al* (2009) se analiza la influencia de cambiar la matriz de pagos). El resumen de los posibles resultados de la interacción se muestra en la tabla 1.

Tabla 1. Tabla de la matriz de pagos del juego de demanda de Nash

	H	M	L
H	0,0	0,0	70,30
M	0,0	50,50	50,30
L	30,70	30,50	30,30

Los agentes toman sus decisiones intentando maximizar su pago en función de las estrategias jugadas en los encuentros previos con otros jugadores. El número máximo de encuentros almacenados en la memoria de cada jugador, la longitud de la memoria, es denotado por m . Al comenzar el juego, las memorias de los agentes son inicializadas con m valores aleatorios entre las tres opciones que pueden escoger (*Low, Medium, High*). Existe una probabilidad pequeña de mutación ϵ de que en un jugador no siga la regla racional y juegue una estrategia aleatoria. En la versión más sofisticada del modelo cada uno de los agentes puede ser identificado como miembro de uno de dos posibles grupos mediante una tag, de tal forma que pueden almacenar en su memoria el resultado de las interacciones condicionadas al grupo al que pertenecía el jugador.

En el análisis que hemos efectuado, los agentes toman decisiones mediante dos reglas de decisión diferentes: bien maximizando la utilidad esperada en función del vector de memoria, o bien utilizando la mejor respuesta a la estrategia más frecuente.

En el modelo AEY original, los jugadores se emparejan de forma aleatoria y todos con todos. En la generalización para juegos espaciales, hemos incluido un grid regular donde situamos los agentes espacialmente. En los experimentos efectuados el grid es una retícula toroidal de 10x10 donde se localizan 100 agentes. Cada uno de los agentes interactúa mediante el juego de demanda de Nash con alguno de los ocho vecinos espaciales que se encuentran en su vecindad de Moore de radio 1 en su entorno más próximo.

El criterio de parada de la simulación se produce cuando se alcanza un estado de equilibrio en el sistema. Puesto que para valores de $\epsilon > 0$ no existen estados absorbentes, se considera que se ha alcanzado el equilibrio cuando todos los agentes tienen al menos $(1 - \epsilon) \cdot m$ instancias de comportamiento *Medium* en sus memorias (se ha alcanzado una norma igualitaria) o cuando existen como mucho $\epsilon \cdot m$ instancias de comportamiento *Medium* en las memorias (se ha alcanzado una norma no igualitaria). Cuando el juego se juega con tags, el criterio de parada se alcanza cuando se cumplen los criterios tanto en la memoria de juego entre agentes con la misma tag y entre agentes con tag diferente.

3. Equilibrios en el escenario aleatorio

Hemos estudiado el modelo bajo diferentes escenarios. En el primer escenario analizamos los resultados de simulaciones en el entorno espacial cuando la distribución de los agentes en el grid es aleatoria (ver Figura 1).

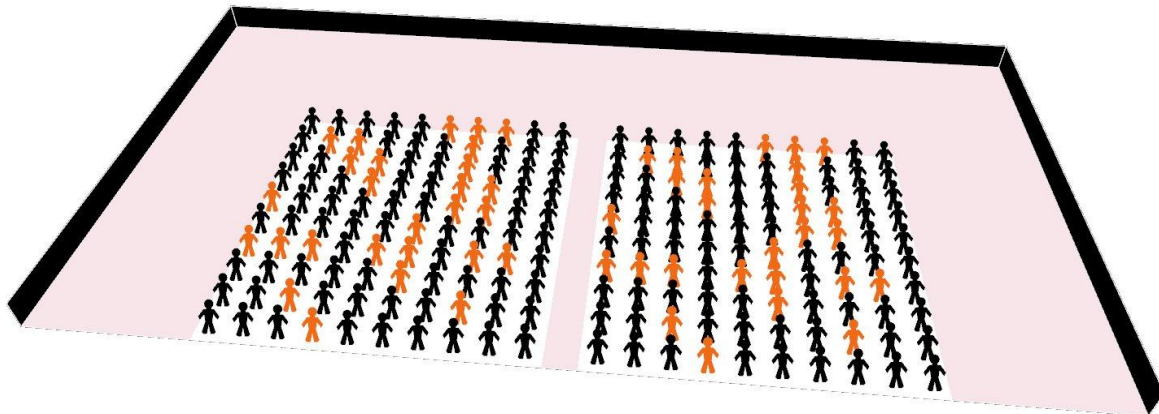


Figura 1. Distribución aleatoria de los agentes en el grid. Se duplican los grids (izquierda y derecha) para representar las interacciones de los agentes entre agentes con la misma tag (*intratype interactions*) y con tag diferente (*intertype interactions*)

En el modelo espacial aleatorio se obtienen los mismos resultados de equilibrio que en modelo de interacción global. Para analizar el sistema en el modelo con tags se dividen los resultados entre los equilibrios alcanzados entre los jugadores con la misma tag (*intratype interactions*) y con tag diferente (*intertype interactions*).

Los diferentes equilibrios alcanzados entre jugadores con diferente tag pueden ser los mostrados en el simplex de la Figura 2. En la izquierda todos los jugadores juegan la estrategia *Medium* independientemente de la clase a la que pertenezcan, en la figura derecha se representa una solución donde todos los jugadores con tag naranja siempre juegan la estrategia *Low* en su interacción con los jugadores negros, mientras que los jugadores negros siempre responden con la estrategia de jugar *High* contra los jugadores naranjas.

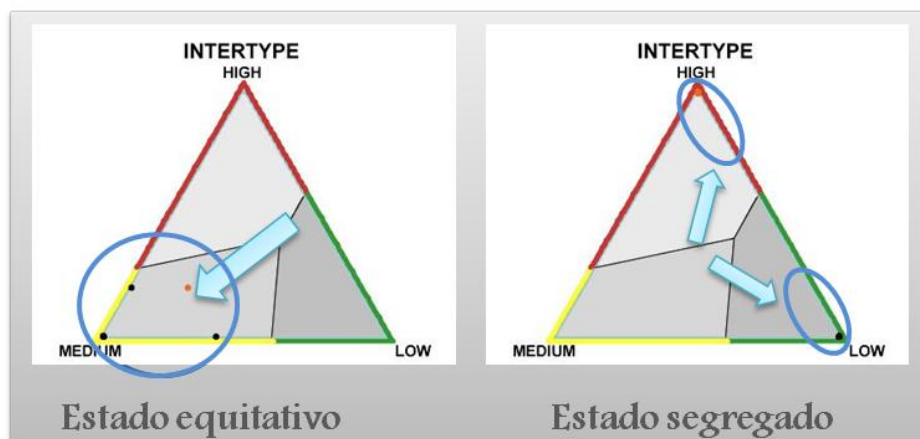


Figura 2. Tipos de equilibrios alcanzados en interacciones *Intertype*

En la figura 3 se muestran los diferentes equilibrios alcanzados en el tipo de interacciones *intratype*. En la izquierda se muestra la emergencia de norma de equilibrio en el que todos los jugadores juegan *Medium* contra los jugadores de su misma clase, en la derecha se muestra un equilibrio segregado en el que los jugadores de un tag juegan *Medium* contra ellos mismos, mientras que otros juegan de forma dinámica unos *High* y otros *Low* dentro de la misma clase. En el centro se representa un estado dinámico fracturado, en el que independientemente del tipo de tag, el comportamiento *intratype* entre los agentes alcanza un equilibrio dinámico en el que unos jugadores juegan *Low* y otros *High* en el modelo.

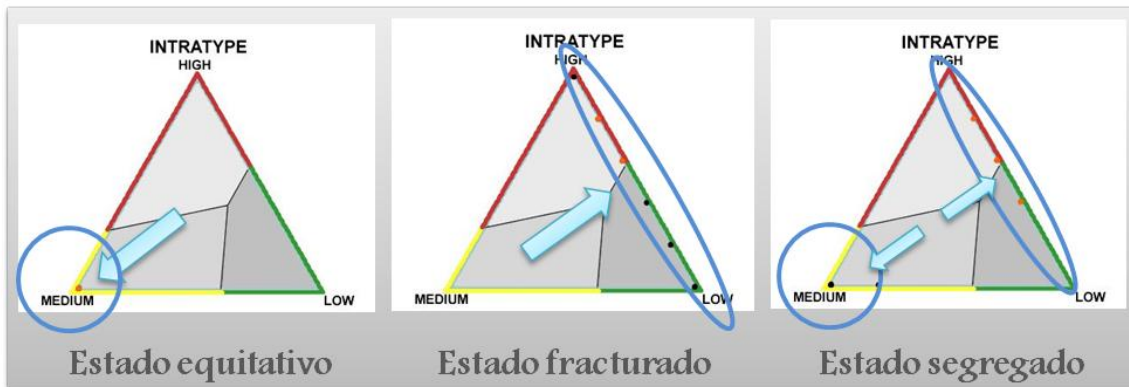


Figura 3. Tipos de equilibrios alcanzados en interacciones *Intratype*

4. Análisis en otros escenarios

Los resultados en el sistema espacial de la sección anterior muestran que las mismas seis posibles combinaciones de equilibrios *intertype* e *intertype* posibles del juego de interacción global pueden también ser alcanzadas en el modelo espacial. No obstante, un análisis más detallado del sistema espacial muestra la aparición de equilibrios más complejos que los anteriormente descritos dependiendo de la configuración de los jugadores. En particular se encuentran efectos límite que dan lugar a equilibrios diferentes a los anteriores en configuraciones donde existen jugadores que actúan como fronteras entre tags y además las fronteras no se comunican entre ellas. Vamos a analizar algunos de estos casos.

4.1. Distribución en dos franjas

En este escenario distribuimos los agentes de acuerdo a la figura 4, las 5 primeras columnas del grid con agentes de un determinado tag, y las otras 5 columnas con agentes del otro tipo. Conviene recordar que ambas zonas interaccionan tanto en la zona central del grid como en el extremo izquierdo y derecho del grid, puesto que el espacio se considera toroidal.

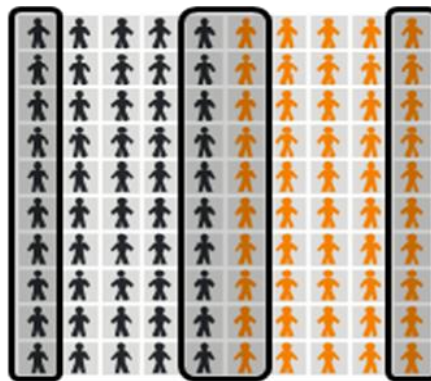


Figura 4. Configuración espacial de los agentes.

Bajo esta configuración podemos analizar inicialmente los equilibrios intratype, entre agentes con la misma tag, que se pueden producir en el juego. Los resultados se muestran en la figura 5. En la figura se representa con fondo amarillo el jugador que juega la estrategia M, en verde el que juega la estrategia L y en rojo quien juega la estrategia H. Se obtienen tres equilibrios diferentes: en la izquierda el equilibrio equitativo en el que independientemente del tag al que pertenezca el jugador, toda la población juega M; en la figura central se obtiene un estado fracturado en ambos grupos de jugadores; y en la figura de la derecha, los agentes con tag oscuro juegan un equilibrio equitativo entre ellos pero los jugadores de tag naranja juegan en una situación fracturada.



Figura 5. Resultados del juego intratype en la configuración de dos franjas.

En las interacciones intertype los equilibrios posibles en esta configuración pueden resumirse en los cuatro que se representan en la figura 6. Es posible el equilibrio equitativo universal como se presenta en la figura de la izquierda-arriba; un estado de segregación en el que los jugadores de una tag siempre juegan L y los de la otra tag siempre juegan H como se representa en la figura derecha-arriba; un estado de segregación en el que cada zona de interacción presenta fenómenos de segregación independientes, es decir, en una frontera es una tag quien siempre juega L frente a los jugadores del otro tag que juegan H, mientras que en la otra frontera se alcanza el equilibrio inverso, son los jugadores de la otra tag quienes juegan H sistemáticamente frente a jugadores de la otra clase que juegan L, como se representa en la figura izquierda-abajo; el último tipo de equilibrio que se puede alcanzar ocurre cuando en una de las zonas de interacción intertype existe un equilibrio equitativo mientras que en la otra zona es posible que exista segregación entre tags.

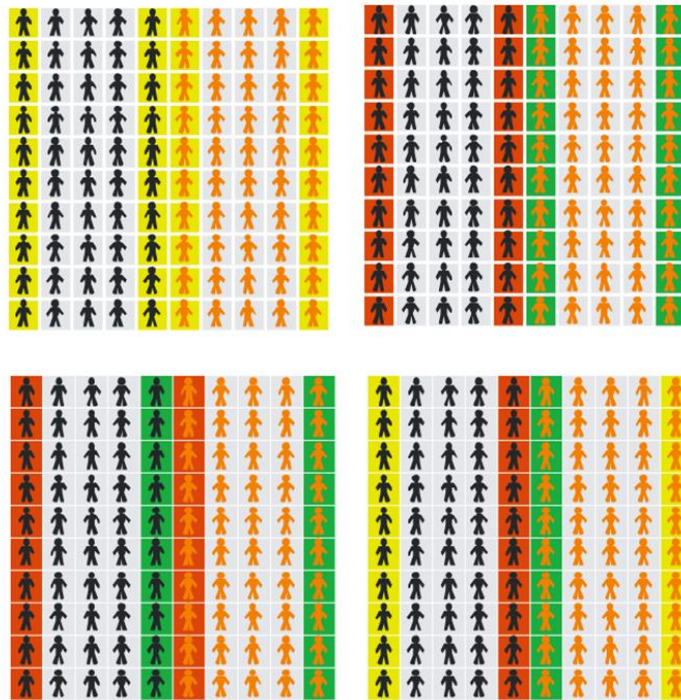


Figura 6. Resultados del juego intertype en la configuración de dos franjas.

4.2. Distribución en cuatro zonas

En este escenario distribuimos las tags de los agentes en cuatro cuadrados de acuerdo a la figura 7. Es importante darse cuenta de que las dos zonas con el mismo tag interactúan entre ellas a través de las esquinas dado el carácter toroidal del grid.

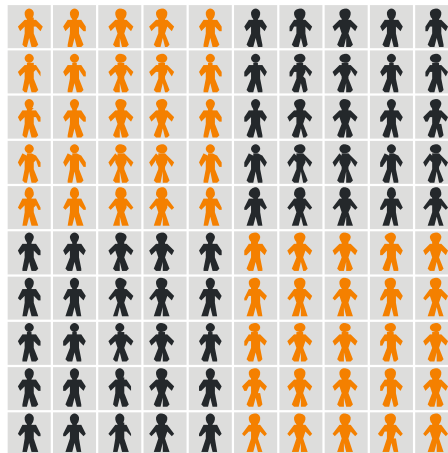


Figura 7. Configuración espacial de los agentes.

En esta configuración, si analizamos los equilibrios intratype, nos encontramos con tres tipos posibles de situaciones: la situación representada en la izquierda de la figura 8 donde todos los agentes juegan el equilibrio equitativo con los agentes de su mismo tag, la situación representada en el centro donde se produce un estado fracturado dentro del grupo independientemente de la clase a la que pertenezca el agente, o bien la situación que ocurre en el gráfico de la derecha, donde en las interacciones intratype, una clase de agentes con un tag juegan un equilibrio equitativo, mientras que los agentes de la otra clase juegan un equilibrio fracturado entre ellos.



Figura 8. Resultados del juego intratype en la configuración en cuatro zonas.

En este escenario las interacciones intertype se reducen a dos posibilidades como se resume en la figura 9. O bien se alcanza el equilibrio equitativo en las interacciones entre agentes con diferente tag, como muestra en el gráfico de la izquierda, o bien los agentes de un tag sólo juegan H contra los agentes del otro, que a su vez juegan siempre L contra ellos, o la situación simétrica.



Figura 9. Resultados del juego intertype en la configuración en cuatro zonas.

El análisis en esta configuración difiere de los múltiples equilibrios obtenidos en la situación con dos franjas debido a que las zonas cruzadas de agentes con la misma tag están conectadas entre ellas por lo que las estrategias pueden *difundirse* de una zona a otra hasta alcanzar situaciones de estabilidad, cosa que no ocurriría con las zonas frontera en el caso de dos franjas, ya que al no existir comunicación se pueden alcanzar equilibrios independientes en cada una de las franjas de interacción entre agentes con diferente tag.

Estos resultados sugieren la importancia de nexos de interrelación, espacial o social, para uniformizar comportamientos sociales como son la emergencia de normas sociales como las expuestas en este modelo. El análisis presentado es todavía acotado e investigación futura tratará de establecer la robustez de estos vínculos de comunicación para que los procesos de difusión social se generalicen.

Referencias

- Alberts, J.B., (2009). Biophysically realistic filament bending dynamics in agent-based biological simulation: PLoS ONE, Vol. 4, No. 3,
- Araújo Araúzo, J.A.; Galán Ordax, J.M.; Pajares Gutiérrez, J.; López-Paredes, A., (2009). Gestión eficiente de carteras de proyectos: Propuesta de un sistema inteligente de soporte a la decisión para oficinas técnicas y empresas consultoras: DYNA, Vol. 84, No. 9, pp. 761-772
- Arauzo, J.A.; Galán, J.M.; Pajares, J.; López-Paredes, A., (2009). Multi-agent technology for scheduling and control projects in multi-project environments. An auction based approach: Inteligencia Artificial, Vol. 13, No. 42, pp. 12-20
- Axelrod, R.M., (1986). An Evolutionary Approach to Norms: American Political Science Review, Vol. 80, No. 4, pp. 1095-1111
- Axtell, R.L.; Epstein, J.M.; Young, H.P., (2001). The Emergence of Classes in a Multi-Agent Bargaining Model, in Durlauf, S.N. and Young, H.P. (eds), Social Dynamics: Cambridge, Mass./Washington, D.C., MIT Press, pp. 191-211.
- Bryson, J.J.; Ando, Y.; Lehmann, H., (2007). Agent-based modelling as scientific method: A case study analysing primate social behaviour: Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences, Vol. 362, No. 1485, pp. 1685-1698

Coleman, J.S., (1990). Foundations of social theory Cambridge, Massachusetts, Belknap Press of Harvard University Press.

Galán, J.M.; Izquierdo, L.R., (2005). Appearances Can Be Deceiving: Lessons Learned Re-Implementing Axelrod's 'Evolutionary Approach to Norms': Journal of Artificial Societies and Social Simulation, Vol. 8, No. 3, p. 2 <http://jasss.soc.surrey.ac.uk/8/3/2.html>.

Galán, J.M.; Izquierdo, L.R.; Izquierdo, S.S.; Santos, J.I.; del Olmo, R.; López-Paredes, A.; Edmonds, B., (2009a). Errors and artefacts in agent-based modelling: Journal of Artificial Societies and Social Simulation, Vol. 12, No. 1, p. 1 <http://jasss.soc.surrey.ac.uk/12/1/1.html>.

Galán, J.M.; López-Paredes, A.; del Olmo, R., (2009b). An agent-based model for domestic water management in Valladolid metropolitan area: Water Resources Research, Vol. 45, No. W05401, <http://dx.doi.org/10.1029/2007WR006536>.

Gallo, E., (2009). Bargaining and social structure: Economics Series Working Papers. University of Oxford., Vol. 443,

Hernández, C.; López-Paredes, A., (1999). Sistemas Multiagente en Ingeniería de Organización, III Jornadas de Ingeniería de Organización: Barcelona, ADINGOR.

Izquierdo, L.R.; Galán, J.M.; Santos, J.I.; del Olmo, R., (2008). Modelado de sistemas complejos mediante simulación basada en agentes y mediante dinámica de sistemas: EMPIRIA. Revista de Metodología de Ciencias Sociales, Vol. 16, pp. 85-112

López-Paredes, A.; Hernández, C., (2008). Agent-based modelling in Natural Resource Management Madrid, Insisoc.

López-Paredes, A.; Hernandez, C.; Pajares, J.; Aguilera, A., (2002). Sistemas Multiagente en Ingeniería de Organización. Técnicas Computacionales de Simulación de Sistemas Complejos, Actas de la II Conferencia de Ingeniería de Organización: Vigo, ADINGOR, pp. 961-967.

Poza, D.; Villafañez, F.; Pajares, J., (2009). Impact of Tag Recognition in Economic Decisions, in Hernandez, C., Posada, M., and López-Paredes, A. (eds), Artificial Economics. The Generative Method in Economics: Berlin Heidelberg, Springer, pp. 245-256.