

Fenómenos de difusión de conocimiento y dimensión geográfica de la innovación, una aproximación multi-agente

José Ignacio Santos Martín¹, Ricardo del Olmo Martínez², Javier Pajares Gutiérrez³

¹ Área de Organización de Empresas. Escuela Politécnica Superior. Universidad de Burgos. Avenida de Cantabria, s/n. Ed.A.; 09006 Burgos. jisantos@ubu.es

² Área de Organización de Empresas. Escuela Politécnica Superior. Universidad de Burgos. Edificio "La Milanera" C/ Villadiego s/n.; 09001 Burgos. rdelolmo@ubu.es

³ Área de Organización de Empresas. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales. Universidad de Valladolid. Paseo del Cauce s/n; 47011 Valladolid. pajares@eis.uva.es

Resumen

Este trabajo analiza las razones por las que llevar a cabo un estudio de la geografía de la innovación desde una metodología bottom-up. En la medida en que las economías basadas en el conocimiento son importantes en una industria, las empresas tienden a localizar sus actividades de I+D+i en clusters. La proximidad geográfica, cognitiva y social condicionan los procesos de aprendizaje y de creación de conocimiento, acentuando la dimensión geográfica de la innovación. Los fenómenos de aglomeración industrial constituyen un sistema socio-económico muy complejo difícilmente abordable desde los modelos económicos clásicos, que sin embargo pueden ser estudiados mediante el modelado basado en agentes y la simulación computacional.

Palabras clave: Knowledge Spillovers, Innovación, Clusters Industriales, Agent-Based Simulation

1. Introducción

La teoría económica en general ha prestado poca atención a la dimensión espacial de la economía (Krugman *et al*, 2001), y más concretamente a los fenómenos de aglomeración industrial. Los clusters industriales constituyen si duda alguna un sistema socio-económico muy complejo. Los agentes económicos no se comportan de forma racional, existe una gran dependencia de la evolución histórica, la estructura social juega un papel muy importante en las relaciones de competitividad y cooperación, además de haber una diversidad de factores económicos, políticos, sociales y culturales que condicionan su desarrollo (Becattini, 1990).

Alfred Marshall (1920) fue uno de los que primero se interesó en los beneficios que las empresas disfrutaban por estar cerca unas de otras, aludiendo entre otros factores a las externalidades de conocimiento presentes en los distritos industriales. Sin embargo y a pesar del creciente interés que en los últimos años ha despertado los fenómenos de difusión de conocimiento (*knowledge spillovers*), éstos siguen siendo una caja negra que encierra entre otros secretos algunos de los porqués de las empresas para localizarse juntas.

Existe un consenso generalizado entorno a la importancia que tienen los procesos de innovación como origen de las ventajas competitivas de las empresas, así como de las diferencias en los desarrollos económicos de muchas regiones. Parece razonable pensar que detrás de los mecanismos de creación y desarrollo de un cluster, los fenómenos de innovación

desempeñan un papel clave como generadores de la diversidad y de las ventajas competitivas que las empresas localizadas en el cluster disfrutan. Las externalidades de conocimiento son un factor determinante en los procesos de innovación y por consiguiente una posible fuerza de aglomeración en industrias de marcado carácter tecnológico.

Son muchos los factores que pueden intervenir en los clusters industriales. Encontramos en la literatura científica muchos trabajos que centran sus esfuerzos en discriminar y clasificar los macro-efectos observados en los fenómenos de aglomeración para inferir algún tipo de modelo explicativo o relacional (Audretsch y Feldman, 1996). Sin embargo a nuestro juicio, puede resultar igualmente interesante tratar de estudiar estos fenómenos a partir del comportamiento de los diferentes agentes económicos que los integran.

Una metodología *bottom-up* descubre que los principales actores son personas que actúan individualmente o agrupadas en organizaciones, con características racionales y sociales muy concretas. Es por esto que en nuestra opinión el modelado basado en agentes puede dotarnos de una herramienta de trabajo muy interesante con la que tratar de comprender mejor los fenómenos de aglomeración industrial.

Esta comunicación se estructura de la siguiente forma: en el segundo apartado se aborda la dimensión geográfica de la innovación repasando las distintas aproximaciones realizadas por la nueva Geografía Económica, la Economía Regional y la Economía Evolucionista; en el tercer apartado se defiende el modelado basado en agentes como metodología y herramienta de estudio de los fenómenos de aglomeración e innovación; y finalmente en el último apartado se resumen las principales conclusiones de este trabajo.

2. La difusión de conocimiento y la dimensión geográfica de la innovación

Uno de los aspectos que sin duda alguna está suscitando más interés en los grupos de investigación en los últimos años son los procesos de innovación. Algunos estudios empíricos (Baptista y Swann, 1998) ponen de manifiesto la mayor intensidad de la actividad innovadora en las aglomeraciones industriales, concluyendo que ésta sería una de las razones por las que las empresas tienden a concentrarse geográficamente en un área concreta.

Los procesos de innovación son por su propia naturaleza inciertos, suceden bajo condiciones de incertidumbre y competitividad empresarial. A pesar del desarrollo que en los últimos años está teniendo las nuevas tecnologías de información, con el correspondiente impacto en las redes de comunicación y relación de las organizaciones, siguen siendo impredecibles y difíciles de administrar (Pavitt, 2003). Las redes sociales, formales o informales, pueden reducir dicha incertidumbre, y puesto que generalmente precisan proximidad geográfica podrían también ser una de las razones de la aparición de clusters industriales.

La relación entre los procesos de innovación y los fenómenos de *knowledge spillovers* y su influencia en la dinámica de los clusters industriales, constituye un ámbito de estudio muy interesante y prometedor. La dependencia geográfica de los fenómenos de difusión de conocimiento acentúa la dimensión geográfica a la innovación. Audretsch y Feldman (1996) avalan esta afirmación al constatar como las actividades de innovación tienden a aglomerarse en la medida en que las economías basadas en el conocimiento son importantes en una industria. En la Tabla 1 se resumen algunas aproximaciones a los fenómenos de difusión de conocimiento desde diferentes teorías económicas que abordaremos en el siguiente apartado.

Tabla 1. Diferentes aproximaciones a los *Knowledge Spillovers (KS)*.

Nueva Geografía Económica	Economía Regional	Economía Evolucionista
<p>→ Externalidades tecnológicas, no comerciales, que afectan a las funciones de utilidad de los consumidores y a las funciones de producción de las empresas</p> <p>→ Por su naturaleza no medible, y de dependencia geográfica cuestionable no se incluyen en sus modelos microeconómicos</p>	<p>→ La innovación depende del conocimiento tácito, que utiliza las relaciones interpersonales como medio de intercambio</p> <p>→ Las actividades I+D+i tienden a aglomerarse en clusters porque facilitan los KS</p> <p>→ La infraestructura tecnológica de las regiones incrementa los efectos de los KS</p>	<p>→ La innovación representa el proceso de desarrollo de diversidad</p> <p>→ La oportunidad y la selección influyen en los fenómenos de innovación y aglomeración</p> <p>→ Los KS condicionan la creación de nuevo conocimiento y su distribución</p>

2.1. Aportaciones desde la nueva Geografía Económica

La llamada nueva Geografía Económica supone un intento por definir un marco económico riguroso desde el que poder comprender por qué las actividades económicas tienden a agruparse en un número pequeño de lugares. El concepto clave que permitiría comprender estos fenómenos económico-espaciales se define como economías de aglomeración, y agrupa a todos los beneficios que disfrutan las empresas y demás agentes económicos por el hecho de desarrollar sus actividades en proximidad geográfica. Estos beneficios de las economías de aglomeración se concretan principalmente en forma de externalidades, pecuniarias y tecnológicas, y de rendimientos crecientes.

Partiendo de la aproximación intuitiva que defiende la existencia de fuerzas centrífugas y centrípetas gobernando los fenómenos de aglomeración, proponen modelos económico-espaciales que tratan de explicar esta dinámica y analizar los posibles estados de equilibrio (Fujita y Thisse, 1996).

Los *knowledge spillovers* son recogidos como una forma de externalidad tecnológica. Su naturaleza no tangible, fundamentada en el intercambio de conocimiento, representa un hueso duro de roer para la nueva Geografía Económica en su intento por definir modelos económicos rigurosos. Puesto que el conocimiento es un objeto que no puede medirse, y que en su opinión, no se encuentra geográficamente tan delimitado como podría esperarse debido a las facilidades de comunicación que las nuevas tecnologías de información introducen, esta disciplina económica ha soslayado estos fenómenos de difusión en sus modelos.

2.2. Aportaciones desde la Economía Regional

La Economía Regional sí que ha prestado más atención a los *knowledge spillovers*. El hecho de que a veces se vean como una especie de caja negra que recoge todas las externalidades de conocimiento, cuyos mecanismos se desconocen, no significa que no sean un factor económico determinante en los fenómenos de innovación y de aglomeración industrial. La proximidad geográfica tiene un gran impacto en los costes de transmisión de conocimiento, tanto más cuanto más complejo sea el mismo. Debido a esta naturaleza tácita y no codificable

del conocimiento, éste se difunde más fácilmente a través de los contactos interpersonales y la movilidad de trabajadores entre empresas.

En un conocido estudio empírico sobre innovación en USA, Audretsch y Feldman (1996) defienden la hipótesis de que las actividades de innovación de las empresas tienden a aglomerarse en clusters industriales en la medida en que los fenómenos de difusión de conocimiento desempeñen un papel importante ¿Cómo identificar las industrias donde los *knowledge spillovers* son importantes si estos no pueden medirse? Aprovechan la hipótesis formulada por Kenneth Arrow de que estas externalidades de conocimiento son más importantes en aquellas empresas que realizan un mayor esfuerzo en I+D, esfuerzo que sí puede cuantificarse. De esta forma son capaces de demostrar estadísticamente la relación entre el esfuerzo en I+D y la concentración geográfica de las actividades de investigación de las empresas. El trabajo de Baptista y Swann (1998) ahonda en este argumento al poner de manifiesto la mayor intensidad de la actividad innovadora en las aglomeraciones industriales de UK.

Además de la propia actividad investigadora e innovadora de las empresas, que Audretsch y Feldman recogen en su estudio, la Economía Regional defiende la relevancia de otros factores íntimamente dependientes de la variable geográfica. La presencia de recursos de conocimiento geográficamente delimitados como universidades, centros tecnológicos, instituciones de transferencia tecnológica, además de otro tipo de infraestructuras que conforman las capacidades tecnológicas y competitivas de una región, también pueden determinar los fenómenos de aglomeración.

2.3. Aportaciones desde la Economía Evolucionista

Han pasado bastantes años desde que Nelson y Winter publicaran su conocido libro sobre teoría evolucionista del cambio económico. Sin embargo es recientemente cuando distintos autores están proponiendo nuevas claves para el entendimiento de los fenómenos de geografía económica desde una visión evolucionista. Boschma y Lambooy (1999) defienden que conceptos como la selección, la dependencia histórica, la oportunidad o los rendimientos crecientes, permitirían dar respuesta a cuestiones como por qué las regiones difieren en sus capacidades para innovar, imitar o aplicar nuevas tecnologías, o por qué estas aptitudes no son estables en el tiempo permitiendo que áreas históricamente importantes decaigan mientras que otras nuevas emerjan con éxito.

Desde una perspectiva evolucionista encontramos en los fenómenos de aglomeración industrial los siguientes elementos (ver Figura 1):

1. Una diversidad de agentes y comportamientos. No todos ellos hacen lo mismo (productos, servicios) sino que lo hacen de forma distinta (rutinas, procesos, tecnología), y estas diferencias tendrán significación en los procesos de selección. Además nos encontramos con la diversidad propia del espacio geográfico (servicios, infraestructuras, estructura institucional, redes sociales, etc.).
2. Unos procesos de selección generalmente soportados por el mercado, que favorece la expansión de aquellas actividades más rentables y eficientes. También estos procesos de selección pueden estar condicionados por la variable geográfica, siendo sensiblemente diferentes entre regiones.

3. Unos procesos de desarrollo que generan nueva diversidad de comportamientos. La innovación en todas sus dimensiones (productos, servicios, procesos) desempeña este papel generador de diversidad.

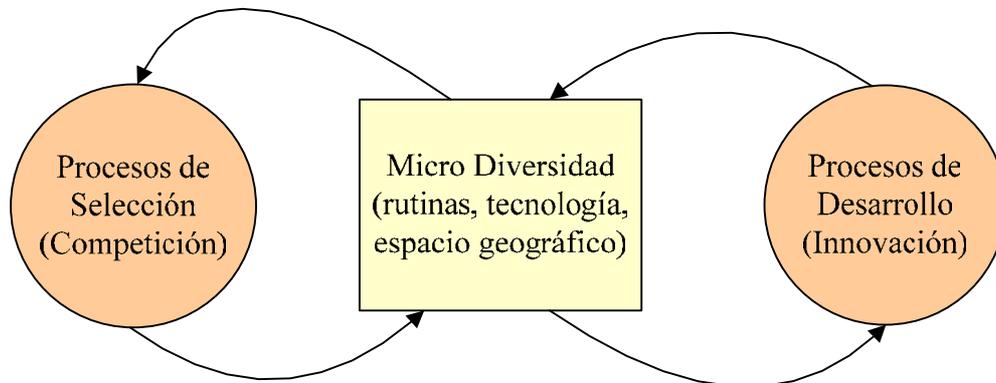


Figura 1. Características evolutivas de los clusters industriales.

Intuitivamente podemos observar que la oportunidad y la selección juegan un papel importante en los fenómenos de innovación y aglomeración (Boschma y Lambooy, 1999). Las empresas disponen de una información imperfecta y además difieren en la forma en que hacen uso de la misma. Conscientes de estas limitaciones muchas de ellas deciden ubicarse en aquellas áreas geográficas donde es más factible disponer de la información clave para su actividad. Aunque las innovaciones no se presentan de forma determinista, parece claro que existe más oportunidad de que aparezcan en aquellas zonas que disfrutan de mayor conocimiento, y que dichas innovaciones prosperen si las condiciones de selección del entorno favorecen su éxito.

La dependencia histórica también es un elemento a tener en cuenta en la dinámica innovadora de los clusters industriales. Una aproximación evolucionista observa que la trayectoria pasada, que condiciona las estructuras y capacidades tecnológicas de las regiones, las redes sociales o el propio nivel de conocimiento, es determinante no solo en los procesos de selección sino también en los procesos de innovación. Por ejemplo, los problemas de adaptación de las viejas regiones industriales, expresión de su falta de capacidad para hacer cosas nuevas, son un claro reflejo de los procesos de dependencia histórica (Boschma y Lambooy, 1999).

La individualidad de los agentes económicos es una característica muy importante desde el punto de vista evolutivo. La diversidad del conocimiento de las empresas es principalmente de naturaleza tácita, lo que algunos autores denominan conocimiento procedimental. Este conocimiento, que reside en las mentes de sus trabajadores, en los procedimientos y *know how* de la empresa, en la estructura corporativa, en la cultura organizativa, etc., no puede ser imitado fácilmente. Los *knowledge spillovers* condicionan en gran medida no solo cómo se distribuye esta diversidad procedimental sino también los propios procesos de creación de nuevo conocimiento.

En resumen, desde una perspectiva evolucionista, el espacio geográfico deja de ser un elemento pasivo para pasar a jugar un papel activo en los fenómenos de innovación y aglomeración porque:

- a) Constituye el elemento aglutinador de todos los agentes económicos que operan en un cluster (empresas, gobiernos, instituciones, trabajadores, consumidores, etc.), y por lo tanto el gran recogedor de la diversidad social, económica, política, tecnológica, cultural que como hemos visto tienen importancia significativa en la selección. Además recoge el pasado histórico que explica en gran medida las trayectorias de desarrollo de las regiones.
- b) Representa el entorno donde se materializan los procesos de selección y las economías de aglomeración, en forma de recursos y capacidades que permiten a las empresas situadas en el mismo disfrutar de mayores oportunidades y ventajas competitivas.
- c) Acoge los cambios que generan nueva diversidad, a la vez que difunde las innovaciones y el conocimiento en forma de *knowledge spillovers* a través de las redes sociales.

3. Simulación basada en agentes

De todo lo escrito hasta este momento se deduce claramente la complejidad del estudio de los fenómenos de innovación y aglomeración, toda vez que características de muy diferente naturaleza, sociales, económicas, políticas y culturales, pueden intervenir en su desarrollo.

Los fenómenos de difusión de conocimiento representan un claro ejemplo de cómo comportamientos individuales, como son los intercambios de conocimiento entre agentes más allá de los límites de las empresas, pueden influir notablemente en las capacidades de innovación del conjunto de un cluster.

La simulación basada en agentes utiliza herramientas computacionales para modelar y estudiar el comportamiento de sistemas complejos. Ahora bien, lo hace desde una concepción *bottom-up* del problema. Comienza con la identificación y posterior implementación mediante software de las entidades individuales o agentes que participan, así como de sus relaciones e interacciones, para finalmente estudiar los fenómenos que emergen mediante la simulación informática del sistema.

Esta idea de simular las interacciones de muchas individualidades y ver qué pasa, responde a una metodología científica generativa (Pajares, *et al*, 2004). La descripción del nivel micro de un sistema sería suficiente para generar, y por lo tanto explicar, la macro-estructura del sistema, que suele ser con frecuencia el objeto de interés en el estudio de los fenómenos reales.

Podemos encontrar en la literatura diferentes ejemplos de aplicación del modelado basado en agentes para tratar problemas de innovación y fenómenos de *knowledge spillovers*. Por ejemplo Pajares, *et al* (2003) modelan una industria como una sociedad artificial de agentes para estudiar los procesos de innovación y cambio tecnológico. Cowan y Jonard (2004) profundizan en las redes sociales y su influencia en la difusión del conocimiento.

En nuestra opinión el modelado basado en agentes constituye una metodología especialmente interesante para abordar el estudio de la dimensión geográfica de la innovación. Vamos a tratar de defender esta afirmación desde diferentes puntos de vista.

Desde una perspectiva metodológica porque:

- Son expresión de una metodología *bottom-up* que se adapta mejor al estudio y comprensión de fenómenos complejos.

Desde una perspectiva de modelado de fenómenos económico-geográficos porque permite:

- Un proceso de modelado más fiel a la realidad, por cuanto recoge con más detalle las características de los agentes y el entorno que conforma un cluster industrial. Podemos construir modelos contextualizados, donde el comportamiento de los agentes depende de los factores geográficos, económicos, sociales y culturales observados en los fenómenos reales.
- Desarrollar las teorías evolucionistas modelando la micro diversidad y los procesos de selección e innovación que explican los fenómenos de innovación, cambio tecnológico, aglomeración, así como los fenómenos de dependencia histórica.
- Crear modelos completos sin tener que recurrir a variables exógenas, ya que la dinámica del sistema está dirigida únicamente por las interacciones entre los agentes.
- Integrar el espacio geográfico como elemento activo de los modelos.
- Modelar fenómenos como las externalidades de conocimiento y los procesos de difusión de conocimiento, tan importantes en los fenómenos de innovación, a partir de la interacción local de los individuos.

Desde una micro perspectiva, que mira con detalle los actores que intervienen, porque permite:

- Modelar la diversidad de agentes, los individuos (consumidores, trabajadores, emprendedores), los grupos (empresas, familias, organizaciones) o las instituciones (mercados, regiones).
- Captar la individualidad de cada agente, sus relaciones e interacciones, así como modelar su comportamiento, caracterizado por la racionalidad limitada en la toma de decisiones y por procesos de aprendizaje endógenos.
- Aprovechar las aportaciones de otras ramas de la Inteligencia Artificial que han desarrollado diferentes estrategias para modelar los procesos de aprendizaje de las personas (algoritmos genéticos, redes neuronales).
- Modelar no solo la proximidad geográfica sino también otros niveles de proximidad, como la proximidad cognitiva, o la proximidad social a través de las redes sociales tan importantes en los fenómenos de difusión de conocimiento.

Y por último como herramienta computacional porque permite:

- Construir herramientas de simulación, a modo de laboratorios experimentales con los que poder hacer investigación teórica, positiva y normativa.

- Integrar los modelos multi-agentes con los sistemas de información geográfica (GIS), para desarrollar modelos de simulación de entornos reales.
- Realizar estudios más sistemáticos de los diferentes factores que determinan las economías de aglomeración, simulando sus efectos conjuntamente y por separado.

Aunque no debemos obviar alguna de las dificultades que el modelado basado en agentes presenta, y que podemos resumir en:

- Es probable encontrarse con diferentes modelos capaces de explicar un fenómeno, lo que obliga a estudiar cuál de ellos se aproxima más al mundo real, tarea tanto más compleja y heurística en tanto los fenómenos que estamos modelando sean más complejos.
- El trabajo de definir, implementar y simular modelos software de agentes en ocasiones puede adolecer de falta de rigor científico. Aspecto muy importante cuando se pretende explicar algo en base a un modelo generado mediante una colección de líneas de código.

Aquellos que desean utilizar estas técnicas de simulación han de ser conscientes de la complejidad de las diferentes etapas de abstracción, implementación y simulación, así como de las repercusiones que posibles errores en ellas pueden tener en los resultados finales. A diferencia de otras metodologías el modelado basado en agentes requiere de técnicas de validación a través de la replicación de modelos, la repetición de experimentos y la comparación de resultados.

4. Conclusiones

Los fenómenos económico-espaciales no pueden ser reducidos a modelos estáticos de equilibrio como formula la economía clásica, han de ser entendidos como procesos dinámicos alimentados por la diversidad de comportamientos de los agentes económicos, donde la innovación juega un papel fundamental como motor de cambio y creadora de nueva diversidad.

Desde una perspectiva evolucionista el espacio geográfico deja de ser un elemento pasivo, para pasar a jugar un papel activo en la geografía de la innovación. No sólo aglutina todos los agentes económicos, recogiendo la diversidad económica, social, política, tecnológica o cultural, también materializa los procesos de selección y acoge y difunde los cambios que generan nueva diversidad.

Como muy bien señalan Pajares, *et al* (2004) la Economía Evolucionista ofrece un marco teórico que permite comprender mejor la complejidad de fenómenos económicos donde la diversidad de agentes y comportamientos superan el aparato matemático de la economía clásica. La teoría evolucionista nos invita a tener en cuenta nuevas claves a la hora de explicar los fenómenos de aglomeración e innovación desde ese esquema tan intuitivo de diversidad, selección e innovación.

El modelado basado en agentes y la simulación computacional permite desarrollar una metodología *bottom-up* desde la que poder estudiar la complejidad de la dimensión geográfica de la innovación que condiciona muchos de los fenómenos de aglomeración industrial.

Referencias

- Audretsch, D.; Feldman, M. (1996). R&S spillovers and the geography of innovation and production. *American Economic Review*, Vol. 86, No. 3, pp 630-641.
- Baptista, R.; Swann, P. (1998). Do firms in cluster innovate more? *Research Policy*, No. 27, pp. 525-540.
- Becattini, G. (1990). The Marshallian industrial districts as a socio-economic notion. En: *Industrial districts and inter-firm co-operation in Italy*. Genova: International Institute for Labour Studies, pp. 37-51.
- Boschma, R.A.; Lambooy, J.G. (1999). Evolutionary Economics and Economic Geography. *Journal of Evolutionary Economics*, No. 9, pp. 411-429.
- Cowan, R.; Jonard, N. (2004). Network structure and the diffusion of knowledge. *Journal of Economic Dynamic & Control*, No. 28, pp. 1557-1575.
- Fujita, M.; Thisse, J.F. (1996). Economics of Agglomeration. *Journal of the Japanese and International Economies*, Vol. 10, No 4, pp. 339-378.
- Krugman, P.; Fujita, M.; Venables, A. (2001). *The Spatial Economy*. MIT.
- Marshall, A. (1920). *Principles of Economics*. Book IV, Chapter X. London: Macmillan.
- Pajares, J.; Hernández, C.; López, A. (2003). Industry as an Organisation of Agents: Innovation and R&D Management. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, Vol. 6, No. 2.
- Pajares, J.; Hernández, C.; López, A. (2004). Modelling learning and R&D in innovative environments: a cognitive multi-agent approach. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, Vol. 7, No. 2.
- Pavitt, K. (2003). The process of innovation. *SPRU: Science and Technology Policy Research*, working paper 89.