



INSTITUTO UNIVERSITARIO  
de Análisis Económico y Social



Universidad  
de Alcalá

---

## Microsimulación de dinámicas urbanas y estrategias de localización empresarial. ¿Por qué surge la concentración espacial?

*Juan Luis Santos, Tomás Mancha Navarro y Jagoda Anna Kaszowska*

## MICROSIMULACIÓN DE DINÁMICAS URBANAS Y ESTRATEGIAS DE LOCALIZACIÓN EMPRESARIAL. ¿POR QUÉ SURGE LA CONCENTRACIÓN ESPACIAL?

### RESUMEN

En este trabajo los autores presentan una metodología basada en sistemas multi-agente para estudiar las dinámicas urbanas. El objetivo de esta investigación es contribuir al estudio de la distribución espacial de la población y la actividad económica mediante el desarrollo de dos modelos computacionales en Java Repast que permiten la simulación de una economía regional compuesta de empresas y personas que interactúan en cada uno de los períodos de la simulación y deciden si cambian su posición con el fin de maximizar su demanda y utilidad respectivamente.

El trabajo consta de cinco secciones. En la primera se estudian las metodologías más importantes para la aparición y evolución de la concentración de población y actividad. En la segunda se analiza la posibilidad de superar el problema de la agregación espacial mediante el uso de una microsimulación en una retícula. En la tercera sección se presenta la medición de la concentración en espacios homogéneos y se propone un índice que supera las carencias de los utilizados en otras investigaciones. Por último se lleva a cabo la modelización original. Su objetivo es poner a prueba varias hipótesis que conducen a la aparición y persistencia de dos dinámicas urbanas. Esta sección está compuesta por dos modelos de microsimulación que permiten el análisis de la dinámica de población, la localización de las empresas y los fenómenos de co-localización y la aparición de concentración en el territorio

**Palabras clave:** concentración espacial, dinámica urbana, localización empresarial, microsimulación espacial, Java Repast

### ABSTRACT

In this paper the authors present a computational approach based on multi-agent systems to study the urban dynamics phenomena. The aim of this research is to contribute to the spatial distribution studies by developing two computational models in Java Repast that allow simulating a local economy with enterprises and individuals who interact in each of the periods of the simulation and decide whether to change their position in order to maximize their demand and utility respectively.

This paper consists of five sections. In the first one, the most important methodologies for agglomeration emergence and evolution are studied. In the second one, the possibility of overcoming the spatial aggregation problem is analyzed through the use of a microsimulation approach. In the third section, the measurement of agglomeration in homogenous spaces is presented. A new measure it is proposed in order to overcome the shortcomings of the ones used in others researches. Finally, the original modelization is also carried out. It is aimed to test several assumptions that lead to proving the emergence and persistence of two urban dynamics. This section is composed by two microsimulation models that allow analyzing the population dynamics, firms' location as well as individuals and firms' co-location dynamics and agglomeration emergence.

**Key words:** spatial agglomeration, urban dynamics, firm localization, spatial microsimulation, Java Repast

## **AUTORES(\*)**

**JUAN LUIS SANTOS** es Máster en Análisis Económico Aplicado, Universidad Complutense y Universidad de Alcalá. Ayudante de investigación en el proyecto MOSIPS en el Instituto de Análisis Económico y Social, Universidad de Alcalá. Actualmente realizando el Máster de Ingeniería de Sistemas en la URJC.

**TOMÁS MANCHA NAVARRO** es Dr. en Economía, Universidad de Málaga. Investigador, Catedrático de Economía Aplicada, Universidad de Alcalá. Profesor invitado en la Universidad Nacional de Litoral (UNL), Universidad Nacional de Salta (UNS), así como otras Universidades Latinoamericanas de Chile, Brasil o Colombia. Director del Instituto de Análisis Económico y Social, Universidad de Alcalá. En la actualidad disfruta de su año sabático como Profesor Visitante de la Universidad Central y de la Universidad Nacional en Colombia.

**JAGODA ANNA KASZOWSKA** es Máster en Matemáticas Financieras en la Jagiellonian University, licenciada en Economía, Universidad de Alcalá, graduada en Relaciones Internacionales y actualmente realizando su tesis doctoral en la Cracow University of Economics

\* Los autores agradecen los comentarios y sugerencias de Federico Pablo Martí, María Teresa del Val, Sonia Quiroga, Carlos García Serrano y en especial de Eva Senra, quién aportó observaciones muy pertinentes a una versión previa de este trabajo.

## ÍNDICE

Índice .....	3
1. Introducción .....	4
2. Metodologías para el estudio de la aparición y evolución de la concentración espacial .....	9
3. El problema de la agregación espacial y las ventajas de la microsimulación .....	14
4. Medición de la aglomeración en espacios homogéneos.....	17
4.1 Índices discretos.....	17
4.2 Índices continuos.....	19
4.3 Índice Herfindhal Ajustado (AHI).....	20
5. Microsimulación espacial para la aparición y evolución de la concentración .....	21
5.1. Modelo 1: Dinámica de localización de la población .....	22
5.2 Modelo 2: Dinámica de co-localización de empresas e individuos .....	32
6. Conclusiones .....	35
7. Bibliografía.....	37

## 1. INTRODUCCIÓN

En la introducción a *Spatial Economics* (1999) de Fujita, Krugman y Venables, los autores citan las palabras de Blaug sobre "el curioso desdén por la teoría de localización por parte de la corriente principal de la economía (...) que sigue en gran medida hasta la actualidad". En oposición a este punto de vista, los autores enfatizan el renacimiento de la teoría de la localización como una de las áreas más dinámicas de la economía contemporánea. Desde principios de 1990, la formación de patrones espaciales complejos ha sustituido gradualmente a las áreas de estudio de la economía espacial y regional.<sup>1</sup> El desarrollo de nuevos modelos espaciales complejos se ha convertido hoy en día en un objetivo de gran importancia para comprender los determinantes y las dinámicas que condicionan y configuran los resultados espaciales observados.

El objetivo de este trabajo es contribuir al estudio de las causas que intervienen en la aparición de la concentración espacial y su ulterior evolución, desarrollando una nueva metodología de estudio de la estructura compleja que subyace en las decisiones e interrelaciones de agentes que conforman el sistema. Este documento también tiene como objetivo caracterizar la dinámica de localización de la población, así como la de las empresas y la dinámica de co-localización con los individuos. El trabajo se compone de cinco secciones que corresponden a los objetivos anteriormente mencionados.

En la primera sección se presenta la revisión de la literatura sobre el alcance de la investigación regional y espacial y se analizan las metodologías para el estudio de la aparición y evolución de la concentración espacial, en especial las realizadas por los autores más destacados en este campo de estudio.

El concepto de economías de aglomeración se utiliza en la economía regional y espacial para describir los beneficios que las empresas obtienen cuando se localizan cerca de otros agentes. Por un lado, a medida que más empresas del conjunto de industrias interrelacionadas se localizan en las proximidades, los costes de producción disminuyen notablemente debido a la competencia entre los proveedores y a los patrones de especialización. Por lo tanto, cuando varias empresas del mismo sector se encuentran cerca unas de otras, hay ventajas directas para todas ellas y para el sector en su conjunto. La concentración espacial atrae a más proveedores y clientes que una empresa localizada en solitario. Por otro lado, también se ha proporcionado evidencia empírica sobre la existencia de efectos opuestos que conducen a la

<sup>1</sup> Los autores distinguen entre economía espacial y regional. El ámbito de la economía espacial no se circunscribe a las regiones como unidades básicas de estudio. Para más información sobre esta distinción consultar Fernández Vázquez y Rubiera Morollón (2013)

aparición de diseconomías de escala. En consecuencia, surgen dos patrones en el uso del territorio: clusters y periurbanización (*sprawl*). Ambos conceptos han sido objeto de investigación por lo menos desde la década de 1970. El concepto de cluster surge en el contexto de las economías de escala externas (economías de aglomeración) y se utiliza para indicar dos fenómenos de concentración espacial diferentes: localización y urbanización. La localización se refiere a las "concentraciones geográficas de empresas e instituciones interconectadas en un campo particular" (Otter, van der Veen and de Vriend, 2001). Por el contrario, el proceso de urbanización indica la ubicación de no solo de "empresas diferentes, sino también de hogares cerca unos a los otros" (Ibídem).

En oposición a la creación de clusters, la aparición de la perirurbanización es el resultado directo del proceso de dispersión que se produce mientras que los agentes económicos optan por permanecer lejos entre ellos. Por lo tanto, la una correcta metodología cuyo objetivo sea estudiar la aparición y evolución de la concentración espacial deberá incluir, tal y como Fujita y Thisse (1996) señalaron, el análisis de las fuerzas centrípetas y centrífugas. No obstante, no vale la pena discutir las fuerzas centrípetas y centrífugas sin definir los "marcos de referencia". El marco supone la recogida de diferentes puntos de vista desde el que se miden los fenómenos. El proceso de medición se realiza siempre en comparación con algo externo. De hecho, la fuerza centrípeta y la fuerza centrífuga son realmente la misma fuerza exacta, ejercida en sentido contrario, ya que se experimentan y equilibran en diferentes marcos de referencia. Aunque el término "marcos de referencia" podría parecer un concepto hermético, en la práctica se define de acuerdo al paradigma actual<sup>2</sup>.

En los análisis convencionales de aglomeración que comparten el paradigma dominante en la economía regional y espacial, no existe un estado de equilibrio entre las economías y diseconomías de escala que determine el crecimiento de la ciudad. Sin disminuir la importancia de los análisis tradicionales para la aparición de concentración espacial y su modelización, debería tenerse consciencia de su limitada aplicabilidad en la descripción y la comprensión de los fenómenos complejos, como las agrupaciones o la aparición de la expansión. En efecto, la aparición de aglomeración y su evolución es mucho más compleja que lo que tradicionalmente se ha venido asumiendo en los enfoques convencionales, en su mayoría basados el enfoque de equilibrio competitivo (Parr, 2002).

Muchos aspectos clave en la aparición de los patrones espaciales no se han tenido en cuenta o su importancia ha sido minusvalorada. El

---

<sup>2</sup> La pregunta abierta es si el paradigma contemporáneo es el correcto o acaso el más adecuado. Después del terremoto que provocó la publicación del teorema de Starrett (1978), podríamos pensar que de nuevo nos hallamos ante un punto en el que se hace necesario un verdadero cambio de paradigma como el definido por Kuhn (1962).

mencionado teorema de Starrett (1978), discutido con detalle por Ottaviano y Thisse (2004), amplía el problema del equilibrio competitivo en presencia de los costes de transporte y muestra que en tal caso sólo conduce a resultados completamente autárquicos y por lo tanto alejados de la realidad. Este resultado no invalida el uso de los costes de transporte en el estudio de la concentración espacial, pero esta falta de realismo y aparente falta de aplicabilidad es una de las principales carencias y desventajas del enfoque de equilibrio competitivo, como ha sido ampliamente discutido desde el comienzo de la actual crisis financiera (Velupillai, 2011; Santos, 2012).

Este problema es uno de los principales del enfoque dominante actual, pero no es el único. Tanto los modelos simples de equilibrio competitivo como otros modelos más sofisticados de equilibrio general sufren de los problemas de la multiplicidad y la inestabilidad de los estados de equilibrio. Duranton y Puga (2004) justifican la existencia de la aglomeración urbana permitiendo bienes indivisibles e instalaciones de distribución y aumentando la variedad de bienes y prestaciones de servicios. No obstante, en el modelo descrito por estos autores se llega a dos equilibrios en el que sólo uno de ellos es estable, si alguna vez fuera alcanzado. Los autores concluyen que "el tamaño eficiente de una ciudad es el resultado de un balance entre las economías de aglomeración urbana y el hacinamiento urbano (*urban crowding*)". De hecho, este resultado no es otra cosa sino el equilibrio entre las fuerzas centrípetas y centrífugas del predefinido "marco de referencia".

Otro de los problemas, más importante que los anteriores en opinión de los autores de este trabajo, es la nula o muy escasa información que se incluye en los modelos de equilibrio sobre la transición de cualquier distribución inicial para alcanzar el grado final de aglomeración. Es decir, la falta de especificación de la transición desde el estado inicial al estado de equilibrio predicho. Esta deficiencia se ha reducido en parte en el modelo de equilibrio general Tabuchi (1998) que representa la transición estructural desde la dispersión a la aglomeración en un marco basado en dos ciudades. La disminución en el grado de aglomeración se observa en el modelo cuando el coste de transporte disminuye monotónicamente. La función de utilidad asumida en el modelo revela el mayor nivel de utilidad en el estado de aglomeración y también se observa como el nivel de bienestar aumenta en la aglomeración urbana. El modelo Tabuchi, aunque bien adaptado, hace surgir dudas sobre el estado de bienestar y la redistribución, así como otras cuestiones relacionadas con la importancia de la ventaja natural en la aparición de la aglomeración.

Por su parte, Ellison y Glaeser (1999) analizaron la pertinencia de las ventajas naturales para explicar la aparición de la aglomeración para la economía de los Estados Unidos. En este caso, el valor explicativo de las ventajas naturales se ha estimado en un nivel cercano 20 por ciento. La metodología aplicada por los autores, ampliamente comentada en el apartado siguiente de este trabajo, es una de las

escasas aportaciones que evalúan el papel de las ventajas naturales en la aparición de las concentraciones espaciales observadas en la realidad. Aunque es tentador seguir la técnica indicada por Ellison y Glaeser, los autores se ven obligados a justificar el punto de partida de la evolución del sistema de forma que podría llegar a considerarse arbitraria. En parte, es por esta razón que la mayoría de la investigación en este campo ha seguido otro camino centrándose más en la evaluación del impacto de la competencia industrial sobre la aparición y evolución de la aglomeración.

En el enfoque de microsimulación presentado en este trabajo no es necesario tener en cuenta este tipo de factores determinantes, porque las distribuciones iniciales de los agentes se asumen al inicio y se elude la necesidad de elaborar distribuciones arbitrarias para justificar el punto de partida antes mencionado. Otra de las ventajas de esta nueva metodología es la posibilidad de analizar el papel de los agentes particulares (personas, empresas, sectores, etc) en el proceso de aglomeración. Anteriormente, la importancia de los individuos como el factor clave en la localización de las empresas también se ha analizado, pero ha sido el avance de los modelos de microsimulación y basados en agentes lo que ha permitido aproximarse a la complejidad de la función de los agentes individuales. Los agentes generalmente se han considerado sólo como consumidores, pero también tienen un papel clave en la dinámica de las empresas y este elemento debe incluirse en los modelos.

La nueva geografía económica ha aportado algunas ideas interesantes en la frontera de la investigación convencional sobre la organización industrial y la economía urbana (Cuadrado-Roura, 2012). No obstante, es el enfoque de microsimulación (y, posteriormente, la modelización basada en agentes), lo que permite analizar incluso las más complejas características de la función de los agentes y su repercusión sobre la aparición y evolución de la concentración espacial y, de hecho este enfoque parece ser el futuro de este campo de estudio.

Tras presentar en la segunda parte la revisión de la literatura sobre el alcance de la investigación regional y espacial en este campo, y después de estudiar las principales metodologías en la investigación de la concentración espacial, se analiza el enfoque de microsimulación. La presentación de las ventajas de las microsimulaciones se precede por la explicación de la forma en que el problema de la agregación espacial es superado con este enfoque.

Hay abundante evidencia empírica acerca de la distribución espacial de la actividad económica y de cómo se concentra. La mayor parte tiene a la región, el municipio o el código postal como unidad de análisis. Este enfoque presenta un problema de agregación espacial conocido como *Modifiable Area Unit Problem* (MAUP). El MAUP ha sido discutido previamente con detalle por Arbia (2001). El autor ha demostrado que, dependiendo de cómo se diseñen las fronteras espaciales, la misma



distribución espacial de los agentes podría resultar en un patrón de concentración mínimo, intermedio o máximo. Este problema ha sido muy poco explorado debido a la falta de datos espaciales suficientemente desagregados. No obstante, el reciente uso cada vez más extendido de datos dentro de los programas de sistema de información geográfica y la consiguiente difusión de datos desglosados espacialmente permiten extraer nuevas conclusiones y el alcance de la investigación se amplía en gran medida. Uno de los enfoques más prometedores para el estudio de los fenómenos de aglomeración y la ubicación es sin duda el enfoque de microsimulación que constituye el primer paso para el desarrollo de los modelos basados en agentes en este campo.

Una comprensión completa de la aparición de la aglomeración requiere la utilización de un índice de concentración espacial eficiente, cuya medición identifique la ubicación de los agentes, las empresas o la industria. No obstante, se ha demostrado que no es una tarea fácil obtener dicha medición. Duranton y Overman (2005) argumentan que "una medida de aglomeración espacial satisfactoria debe ser comparable en todos los sectores, se deben controlar las tendencias generales de aglomeración de todos los sectores y debe ser capaz de separar la concentración espacial de la concentración industrial, ser imparcial con respecto al grado de agregación espacial, y debe admitir una prueba de significación estadística clara" (Kominers, 2008). Además, se debe poder utilizar en un modelo adecuado y tener una interpretación realista. De hecho, como pone de relieve Kominers no existe tal indicador que podría satisfacer todas esas condiciones. En consecuencia, en muchas ocasiones los estudios de los determinantes y la dinámica de la aglomeración se vuelven inconsistentes y mucho más complicados.

En la sección tres de este trabajo, se discutirán las medidas de aglomeración, tanto continuas como discretas. A continuación, se presenta un nuevo índice basado en el índice de Herfindahl para la dinámica de aglomeración. Este índice, permite superar parte de las desventajas de los utilizados en otros trabajos, al tiempo que permite separar de forma unívoca la concentración espacial surgida aleatoriamente de aquella en la que subyacen decisiones de los agentes.

La cuarta sección recoge los resultados de los análisis empíricos obtenidos de las dos microsimulaciones realizadas acerca de los fenómenos de aglomeración. En la primera, se presenta el modelo de la dinámica de localización de la población. Posteriormente, en el segundo modelo, la adición de empresas e individuos permite estudiar las dinámicas de ubicación. En ambos casos se describen los conceptos de diseño y especificaciones funcionales de los modelos programados en Java Repast.

En el primer caso se han definido dos escenarios: el escenario con umbral mínimo y otro con umbral máximo y mínimo. Incluso en el modelo más sencillo, solo con el umbral mínimo de utilidad, se observan resultados interesantes que se pueden extraer a partir del análisis de los patrones espaciales observados. En el segundo modelo, las empresas se introducen en el sistema. Las empresas maximizan su demanda esperada si se localizan cerca del mayor número posible de individuos. Sin embargo, en estas localizaciones hay una mayor probabilidad de que exista más de una empresa, y la demanda se divide entre el número de empresas en las cercanías. En consecuencia, es la combinación de estas dos interacciones, de donde surge la co-localización. El proceso de elección de la zona de estudio incluye la comprobación de la estabilidad de la distribución inicial de los agentes, así como la posible influencia de las fronteras geográficas sobre la aparición de aglomeración (espacio toroidal vs no toroidal).

En resumen, el trabajo consta de cinco partes además de esta introducción. En la segunda sección se presentan las principales aportaciones en el estudio de la concentración espacial. En el tercer apartado, el problema de la agregación espacial se analiza y la forma en que podría ser superado mediante el uso de un enfoque de microsimulación. En la cuarta parte, las técnicas de medición son analizadas y se construye un indicador de aglomeración para su aplicación en la investigación sobre las dinámicas de aglomeración realizada en la quinta parte. El objetivo del trabajo no es sólo analizar la aparición y evolución de la concentración espacial, sino también poner a prueba una nueva metodología y sus posibles futuras extensiones, indicadas en las conclusiones de este trabajo.

## 2. METODOLOGÍAS PARA EL ESTUDIO DE LA APARICIÓN Y EVOLUCIÓN DE LA CONCENTRACIÓN ESPACIAL

Fujita y Thisse (1996) plantean en su artículo la pregunta fundamental de la economía espacial: "¿por qué las actividades económicas tienden a aglomerarse en un pequeño número de lugares (por lo general las ciudades)"? Esta pregunta siempre ha generado una gran controversia. En consecuencia, se han desarrollado varios métodos de investigación de la aglomeración, incluyendo las metodologías relacionadas con el equilibrio competitivo y aproximaciones de equilibrio general, las técnicas de organización industrial, la economía urbana, la nueva geografía económica o el enfoque de redes. Todos ellos, aunque diferentes desde muchos puntos de vista, comparten la idea de la existencia de las fuerzas centrípetas y centrífugas antes mencionadas en la introducción a este trabajo. No obstante, aún partiendo de la misma idea, la comprensión de los fenómenos en estudio y la extracción de resultados son muy diferentes según el enfoque que se utilice.

Cuando Fujita y Thisse argumentan que el equilibrio de la configuración espacial de las actividades económicas puede considerarse como el resultado de un proceso que implica dos tipos opuestos de fuerzas, es decir, fuerzas de aglomeración (o centrípetas) y las fuerzas de dispersión (o centrífugas), el resultado de su investigación es inmediatamente asociado con el equilibrio competitivo o el enfoque de equilibrio general. Pero, ¿es este equilibrio espacial, entendido como el resultado de un complicado equilibrio de fuerzas que tiran y empujan a los consumidores y a las empresas hasta que no se puede encontrar una mejor localización, el más adecuado para identificar la dinámica de aglomeración? También debemos preguntarnos si la naturaleza de las fuerzas centrípetas y centrífugas se entiende de la misma manera por los investigadores que siguen diferentes enfoques y, finalmente, ¿cuáles son las consecuencias metodológicas de asumir un enfoque particular?

El objetivo de esta apartado es analizar y evaluar las metodologías de investigación de la aglomeración de la corriente de investigación más importante y los enfoques de las corrientes periféricas. Al mismo tiempo, también se presenta el enfoque de microsimulación espacial como una nueva metodología de análisis de la dinámica de aglomeración. A continuación, teniendo en cuenta que el enfoque de microsimulación espacial es un componente básico de la modelización basada en agentes, también se señalan las principales características de este enfoque.

La cuestión de los determinantes potenciales de la actividad económica y la localización de la población no siempre se ha situado en el centro de la corriente principal de la investigación económica. Como Fujita, Krugman y Venables (1999) argumentan, el problema fundamental en la realización de trabajos teóricos enmarcados en la geografía económica siempre ha sido que cualquier enfoque que se considerase bien encaminado en el estudio del desarrollo regional y urbano debía basarse en el papel de los rendimientos crecientes. Los rendimientos crecientes siempre han supuesto un reto para los investigadores y modelizadores de la actividad económica. Su existencia conlleva la ruptura de los rendimientos decrecientes de los factores en las plantas, y la ausencia de competencia perfecta en los mercados. Además, aunque algunos de los modelos de equilibrio general fueron capaces de superar esta dificultad, sufren de otros problemas relacionados con la existencia y unicidad de equilibrio, así como la estabilidad del estado de equilibrio.<sup>3</sup> En parte a causa de la falta de conocimiento suficiente del problema que representa la asunción de rendimientos crecientes, los enfoques más tradicionales (por ejemplo, los sistemas urbanos) han tratado los rendimientos crecientes como una especie de caja negra de las externalidades identificadas (como por ejemplo, en el modelo

<sup>3</sup> Este tipo de problemas ha sido en gran parte resueltos por los enfoques de la teoría de juegos, incluyendo la teoría de juegos evolutivos. Los refinamientos de los estados de equilibrio se han discutido por muchos autores, entre ellos Myerson (1978), Mas Collé, Whinston y Green (1995) y Gibbons (1997).

Thunen). Sin embargo, desde la década de 1970, los nuevos desarrollos de las teorías de la organización industrial impulsaron el interés de los investigadores en este campo de estudio. Fue en ese momento cuando se desarrolló el modelo de Dixit y Stiglitz (1977). Más adelante, tras la gran apertura comercial de las economías occidentales, fueron ganando importancia los nuevos modelos de intercambio (Helpman y Krugman, 1985), los de crecimiento (Grossman y Helpman, 1991), así como los modelos de cambio tecnológico. A pesar de los avances en este campo de estudio, el futuro del área de investigación siempre ha sido incierto. De hecho, no se produjo ningún otro avance crucial hasta la irrupción de la nueva geografía económica.

El objeto de estudio de la nueva geografía económica es "la concentración de la población y de la actividad económica" (Fujita, Krugman, Venables, 1999) pero, ¿es similar en la actualidad la concentración y su proceso de aparición y evolución a lo observado en el pasado? La respuesta a esta cuestión no resulta sencilla. Sin duda, la modelización de los determinantes y los efectos de la concentración espacial ha de ser diferente, pero en qué medida. Según Marshall (1920), los distritos industriales surgen debido a la existencia de externalidades de conocimiento, el retroceso y los vínculos asociados al tamaño del mercado local, así como las ventajas de los mercados mayores para la retribución de las habilidades que conllevan la especialización. De hecho, los dos enfoques anteriores al equilibrio: las extensiones dinámicas del enfoque base-multiplicador (Pred, 1966), así como las teorías de redes modernas hacen uso de la idea de los vínculos que Marshall puso de relieve. Por lo tanto, los puntos de vista de los modelos tradicionales parecen ser útiles para la comprensión de los mecanismos que subyacen a la concentración espacial. Además, los resultados obtenidos de estos análisis de tradicionales pueden complementarse con los de los modelos que surgen fuera de la visión dominante tal como ha sido discutido por Caballero (2010).

Por otro lado, el gran avance en las técnicas informáticas ha proporcionado una serie de herramientas útiles para el procesamiento de microdatos, incluyendo las microsimulaciones, los sistemas multi-agentes , así como los modelos basados en agentes. Todas las metodologías y técnicas mencionadas se puede utilizar para ampliar nuestro conocimiento sobre el tema que nos ocupa, pero su aplicación depende de la comprensión de cuándo y cómo cada una de estas técnicas se deben utilizar y cuáles son las principales diferencias entre ellas.

Cuando se asume cualquiera de los enfoques tradicionales, el resultado que se obtiene es el equilibrio entre las fuerzas centrípetas que tienden a promover la concentración espacial de la actividad económica y las fuerzas centrífugas que se oponen a dicha concentración. El estado alcanzado podría ser estable o inestable. Aquí también se sostiene la idea de Marshall. La metodología tradicional de estudiar los fenómenos de aglomeración es, de hecho podría resumirse en el cálculo del

equilibrio y a continuación la linealización del modelo alrededor del equilibrio simétrico y la solución en el caso de que se trate de un punto de ruptura. En ese contexto, es destacable la importancia de la simetría. Dependiendo del modelo asumido, romper el supuesto de simetría puede conducir a la concentración total de la actividad en un solo lugar. El mismo problema también puede aparecer en el enfoque de microsimulación. El mismo procedimiento es seguido por los investigadores que trabajan con modelos de equilibrio general y equilibrio competitivo, así como en el caso de gran parte de los modelos de la economía industrial. La alternativa a estos procedimientos son la programación y el uso de técnicas de simulación que se han desarrollado en los últimos años. Todos ellos están relacionados con la creación de un nuevo paradigma en la investigación dentro de las ciencias sociales.

Boman y Holm (2004) analizan las relaciones entre los tres paradigmas: el paradigma de microsimulaciones, el paradigma de los sistemas multi-agente y el de la geografía dinámica. De hecho, como afirman los autores, el concepto de espacio no ha de ser modelizado explícitamente en las dos primeras técnicas de investigación. No obstante, la dimensión espacial puede ser incluida para obtener una herramienta poderosa para el análisis de la dinámica de aglomeración. Hay algunos conceptos que han de ser definidos y especificados previamente con el fin de comprender la diferencia entre el enfoque de microsimulación espacial y los enfoques tradicionales basados en la existencia y la estabilidad de los estados de equilibrio de la concentración.

En primer lugar se debe presentar el concepto de agente. Según Boman y Holm (2004), un agente es "una entidad autónoma pro-activa, cuyas acciones dependen de su estado interno". De hecho, es cierto que en el enfoque de microsimulación y los sistemas multi-agente así como en los modelos basados en agentes (ABM), el agente puede actuar y sentirse completamente libre de tomar sus propias decisiones, teniendo en cuenta la información disponible. Es también la posibilidad de modelizar la racionalidad limitada lo que distingue a las microsimulaciones y los modelos basados en agentes del enfoque de equilibrio general.

En el centro del enfoque de la microsimulación se encuentra también el concepto de la comunicación entre los agentes. Este concepto es especialmente importante cuando se añade la dimensión espacial en el análisis. En tal caso, cuando la distribución de los agentes es espacial, los mensajes de comunicación pueden sólo ser intercambiados dentro de una zona predefinida (los vecindarios de Moore, Von Neumann o el euclidiano).

De acuerdo a los estándares de programación, tanto el enfoque de la microsimulación como el de la modelización basada en agentes utilizan la programación orientada a objetos, mientras que en el caso de los sistemas multi-agente, la programación orientada a objetos prácticamente no se utiliza. De hecho, este segundo tipo de sistemas

constituye la extensión de la programación orientada a objetos: se añaden las características tales como la fijación de significado de los protocolos de comunicación de mensajes. En ambos casos, la técnica de programación se basa en la construcción de algoritmos y los modelos se desarrollan en lenguajes que tengan integradas las clases, principalmente en Java o C++.

No obstante, la diferencia en las definiciones de los agentes no se reduce solo al alcance ni a las reglas de programación. Como Boman y Holm sostienen, la distinción entre los enfoques antes mencionados se relaciona directamente con las clases de agentes. En el caso de los sistemas multi-agente, la elección debe hacerse en primer lugar entre los agentes reflejos y de entrega, que son definidos por los autores respectivamente como los que actúan a la manera de estímulo-respuesta, mientras que los agentes de entrega son los que actúan bajo restricciones. Las distinciones utilizadas en este enfoque suponen una aplicación directa de la idea de racionalidad limitada, como la que se define después de Simon (1990) y (1991).

Por último, debe discutirse brevemente el procedimiento de cálculo y el lugar de todos esos enfoques en estudio en el contexto más amplio de las técnicas de modelización. Axtell (2000) distingue entre los modelos de agentes y las simulaciones clásicas, como los resultados complementarios a los matemáticos y/o como un sustituto para el análisis. No obstante, se debe tener en cuenta que el enfoque de microsimulación es un componente básico de los modelos basados en agentes. Al mismo tiempo es difícil no señalar que sólo hay una ligera diferencia entre los ABM y los enfoques multi-agente. Por lo tanto, todas estas técnicas están estrechamente relacionadas. Una vez que algunas de ellos se someten a la crítica, la probabilidad de aplicar la misma lógica al resto de los enfoques se eleva significativamente.

Las microsimulaciones y los modelos basados en agentes permiten el análisis de la compleja interacción entre los agentes, así como la evaluación de su impacto en el efecto general tanto a nivel regional como macro. En el mismo, las situaciones que no son fácilmente recogidas por las herramientas matemáticas tradicionales se pueden tener en consideraciones utilizando estas técnicas. Esto incluye la actuación de los agentes sobre la base de la experiencia anterior para adaptarse a las nuevas condiciones del mercado. En tal caso, la experiencia juega un papel especial en el conjunto con las expectativas y el proceso de imitación. Por lo tanto, no es sorprendente que Velupillai (2011) haya destacado la importancia de estos modelos como alternativa, y no necesariamente como un complemento a los modelos matemáticos, como inicialmente fue asumido por Axtell (2000). En cambio Velupillai hace hincapié en que los modelos teóricos y matemáticos sofisticados se encuentran muy lejos de la realidad y su único futuro es el enfoque basado en algoritmos.

Por otro lado, también se dan algunos errores en los nuevos enfoques. Así en lo que se refiere a los efectos de la elaboración del modelo, especialmente en el contexto de la economía espacial, se han de recoger unos datos suficientemente desagregados. El problema de la agregación espacial que aparece en los estudios de aglomeración es el objeto del estudio llevado a cabo en la siguiente sección de este trabajo. Además, hay un compromiso entre la complejidad de los algoritmos y el tiempo de cálculo. El tiempo de cálculo se prolonga de manera significativa cuando se tienen en cuenta diferentes grados de racionalidad y se modelan más interacciones entre los agentes. Este período de cálculo es relativamente largo, al menos, en comparación con los modelos de equilibrio general tradicional.

Después de presentar las características de los sistemas de microsimulación, modelos basados en agentes y multi-agente, a continuación se analiza la aplicabilidad de los enfoques en el contexto de la economía espacial. El enfoque de microsimulación no siempre se ha utilizado en el contexto de la economía regional y espacial. El primer modelo que analizó las fuerzas centrípetas utilizando el enfoque de microsimulación fue el modelo de Hagenstrand elaborado en 1953. También fue Hagenstrand quien desarrolló los fundamentos de lo que hoy llamamos el "enfoque de microsimulación espacial". Su término geografía espacial enfatiza las dos dimensiones en su análisis: el espacio y el tiempo. Esta fue la primera visión que incluía y trataba de valorar el papel de las restricciones físicas y sociales para el análisis de los fenómenos de la economía espacial. Tras las obras de Hagenstrand, en 1989, se publicó un artículo que incluyó el primer modelo de población dinámico e interactivo con características geográfico-temporales (Clarke and Holm, 1987).

En el caso del enfoque de la microsimulación y los modelos basados en agentes, la preparación correcta de las simulaciones debe ser paralela a la elaboración de una base de datos adecuada. En la siguiente sección, se describe el procedimiento para superar el problema de la agregación espacial.

### **3. EL PROBLEMA DE LA AGREGACIÓN ESPACIAL Y LAS VENTAJAS DE LA MICROSIMULACIÓN**

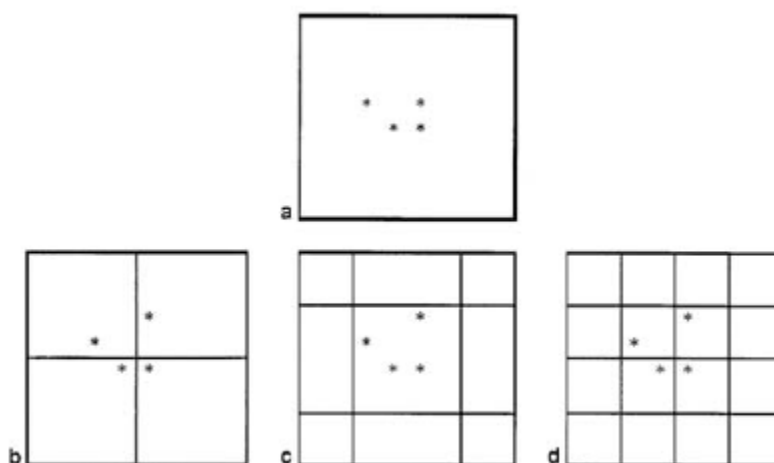
**S**in duda, uno de los principales problemas en la investigación de la aglomeración es de hecho la elección adecuada de las unidades de escala geográficas estudiadas. Como Pablo Martí y Muñoz-Yebra (2009) argumentan, la delimitación de las áreas de actividad de negocios se encuentra estrechamente ligada a la forma en que el territorio se divide en unidades administrativas. La división puede conducir a que zonas altamente pobladas sean tratadas como el

contrario y viceversa. En la práctica, todavía no hay datos suficientemente desagregados y las técnicas estadísticas y econométricas no están aún suficientemente desarrolladas para resolver el problema de la agregación espacial.

El problema de la agregación espacial, conocido como el problema MAUP, se identificó en primer lugar por Openshaw y Taylor (1979). Se refiere al problema de la división arbitraria de las divisiones del territorio conocido como el *gerrymandering*, y la escala adecuada elegida en el análisis de los fenómenos de aglomeración. El problema de la escala aparece como consecuencia del cambio de la escala de las unidades de medida durante el proceso de investigación. Ambos problemas pueden ilustrarse con el ejemplo proporcionado por Arbia (2001).

En la Figura 1, se puede observar la concentración geográfica de las firmas en el centro de la zona en estudio. Dependiendo de la forma en que las divisiones territoriales se constituyan, se obtienen diferentes medidas de concentración. Cada una de las tres configuraciones presentadas indica diferentes grados de concentración, lo que lleva a la extracción de conclusiones completamente diferentes. El problema de la elección de escala también aparece y se representa. La adopción de diferentes escalas hace que la estimación de la concentración sea más alta en el primer caso que en el segundo (Pablo-Martí y Muñoz-Yebra, 2009).

Figura 1  
El problema de la agregación espacial (MAUP)



Fuente: Arbia (2001)

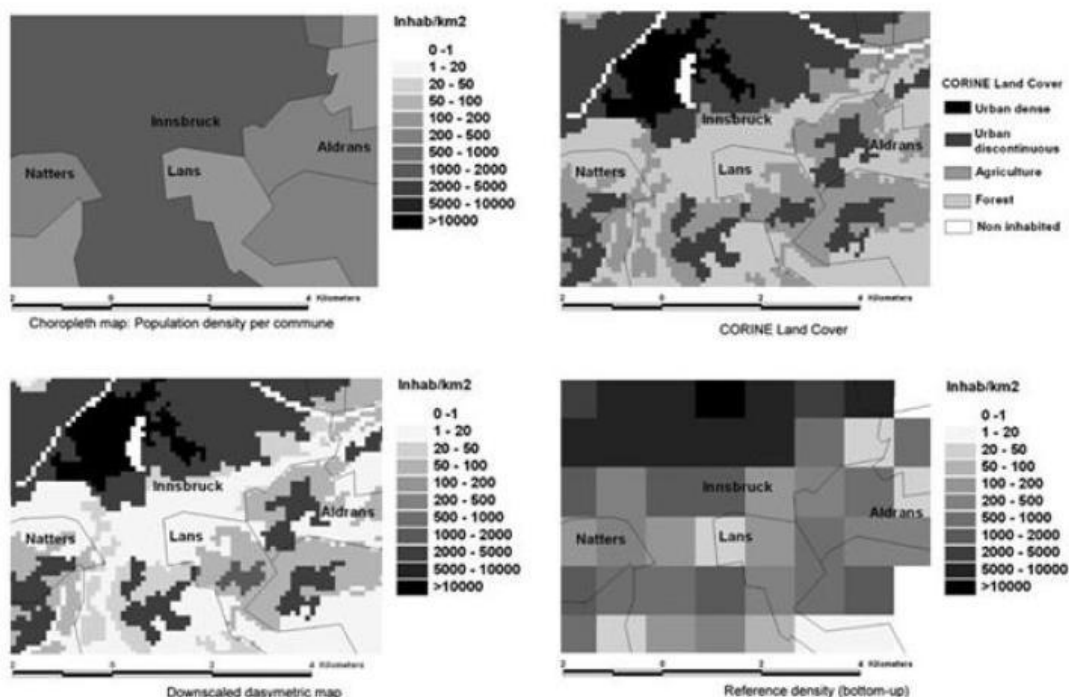
Los problemas de agregación espacial o escala en la medición de la densidad demográfica a nivel municipal no pueden resolverse ni fácil ni completamente por el simple uso de divisiones territoriales más



pequeñas, tales como códigos postales o secciones censales porque esas divisiones se determinan endógenamente, ya que la población es el criterio de división utilizado. En consecuencia, el sesgo en el que se incurre es aún mayor. Una alternativa a este procedimiento, que sería una buena aproximación de la medición del caso continuo, es la medición de densidades de población y de la actividad basada en el uso de pequeñas zonas homogéneas. Este enfoque reduce o elimina el problema MAUP. De hecho, esta idea se encuentra detrás del uso de la red o de trama que se aplica en la técnica presentada en el apartado quinto del trabajo.

Detrás de la visualización de la red con datos reales está la técnica estadística llamada escalaje como se observa en la Figura 2 (Gallego, 2010). El escalaje es una técnica estadística que unifica los datos espaciales en los diferentes niveles de definición para obtener unos resultados en los que la calidad es superior a la de cualquiera de las fuentes de datos utilizados en el procedimiento. Esta técnica se utilizó en primer lugar en los estudios sobre el clima, pero ahora se ha demostrado su importancia en otros campos como la economía.

Figura 2  
Creación de una retícula con las técnicas de escalaje



Fuente: Gallego (2010)

#### 4. MEDICIÓN DE LA AGLOMERACIÓN EN ESPACIOS HOMOGÉNEOS

Con el fin de avanzar en la investigación empírica de la aglomeración utilizando el enfoque de microsimulación, se ha de lograr un indicador del nivel de aglomeración. Las mediciones de aglomeración se clasifican en dos grupos. En el primero los indicadores están relacionados con los modelos de espacio discretos. El segundo grupo se refiere a las medidas discretas de espacio como una introducción a los índices de aglomeración de espacio continuo (Kominers, 2007). La principal diferencia entre ambos grupos se basa en la negación del supuesto de las unidades espaciales discretas. En el primer enfoque, las personas o empresas se deben localizar en los estados discretos del espacio. Todos los estados están a la misma distancia del resto. Como Kominers (2007) argumenta, la gran parte de los modelos incluye este supuesto, aunque esta hipótesis no se sustenta en la teoría. Por el contrario, el nuevo grupo de indicadores se basan en las mediciones de la densidad de la distancia y no asumen la dependencia de las fronteras político-administrativas.

Antes de proceder a la presentación de la técnica de medición empleada en este trabajo, se comentarán los aspectos básicos de las dos alternativas más importantes utilizadas: la discreta y la continua.

##### 4.1 Índices discretos

El indicador más importante en este grupo es el índice de aglomeración Ellison y Glaeser publicado por los autores en 1999. En el cálculo del denominado índice de EG, también se tiene en cuenta el papel de los spillovers de la industria. A tal fin, se calculan el índice de Gini (G) y el índice de Herfindahl (H). Si X representa la proporción del empleo total en la zona en cada sector, entonces el índice EG podría expresarse mediante la siguiente ecuación:

$$\gamma_i^{EG} = \frac{G_i - \left(1 - \sum_{i=1}^M x_i^2\right) H_i}{\left(1 - \sum_{i=1}^M x_i^2\right) (1 - H_i)} = \frac{G_i / \left(1 - \sum_{i=1}^M x_i^2\right) - H_i}{1 - H_i}$$

Existen varias ventajas de utilizar esta técnica de medición, incluyendo la más importante: la provisión de una "estimación objetiva de las fuerzas aglomeración independientes de la fuente de esas fuerzas" (Kominers, 2007). Además, permite separar la agregación espacial de la medición de la aglomeración y controla las tendencias generales de aglomeración (Ellison y Glaeser, 1999). Una lógica similar a la asumida en el índice de EG fue la que subyace en el cálculo del índice MS

elaborado por Maurel y Sédillot (1999), que puede expresarse de la siguiente manera:

$$\gamma_t^{MS} = \frac{(\sum_{i=1}^M s_i^2 - \sum_{i=1}^M x_i^2) / (1 - \sum_{i=1}^M x_i^2) - H_t}{1 - H_t}$$

Este índice se utiliza para medir la concentración de la separación geográfica de la empresa con la elección de la ubicación por los individuos. Tal como Kominers (2008) argumenta, este índice se basa en un estimador ponderado, que da diferentes pesos a los spillovers en cada lugar de acuerdo al tamaño de las industrias localizadas en ese emplazamiento (i) de acuerdo al empleo que tiene cada sector en el área (s).

Un tercer índice importante es el test multinomial de Aglomeración y Dispersión (MTAD). Se define por la siguiente fórmula:

$$t(\mathbf{X}, \mathbf{n}, \mathbf{p}) = l(\mathbf{X}, \mathbf{n}, \mathbf{p}) - E[l(\mathbf{X}, \mathbf{n}, \mathbf{p})]$$

donde el componente  $l$  se define como :

$$l(\mathbf{X}, \mathbf{n}, \mathbf{p}) = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M \ln \left[ \binom{n_i}{x_i^1, \dots, x_i^C} \right] + \ln \left[ \prod_{k=1}^C p_k^{x_i^k} \right]$$

En la fórmula anterior,  $M$  es el número total de los mercados en los que las empresas pueden localizarse. Cada uno de ellos está poblado por las empresas  $n_i$ . El número de opciones de la firma se indica mediante  $x_i^c$ , donde  $c$  indica la opción en el mercado  $i$ . La probabilidad condicional de hacer una elección  $c$  se recoge en el vector  $\mathbf{p}$ .

Este índice está asociado a una regla de comportamiento. Se supone que las empresas deciden aglomerarse sólo si sus decisiones sobre la ubicación son similares (es decir, cuando se comportan de forma similar). Este elemento es interesante para el enfoque de microsimulación espacial. De hecho, como se puede observar en el modelo desarrollado en la sección siguiente, las empresas también se aglomeran cuando se comportan de manera similar, aunque su actuación se guíe por la maximización de su beneficio esperado.

#### 4.2 Índices continuos

En respuesta a la crítica de la nueva teoría geográfica a los índices discretos, se han desarrollado modelos de espacio continuo y medidas para ellos. La primera medición de este tipo fue la elaborada por Duranton y Overman (2005). Se utiliza para calcular la medición de la densidad de la distancia bilateral y se deriva de un modelo de equilibrio espacial en el que la elección de las empresas determina el equilibrio. Cuando se analizó el problema MAUP se presentó una técnica que divide el espacio en una retícula con el fin de obtener la aproximación del caso continuo. La pregunta que surge es, ¿por qué no utilizar las técnicas continuas e índices continuos? La respuesta estriba en que a pesar de que hay índices continuos que son prometedores, su uso está fuertemente ligado a los modelos de equilibrio espaciales que no siempre son compatibles con las premisas del enfoque de microsimulación espacial y el modelado basado en agentes.

La K-densidad definida por la Duranton y Overman, es de hecho un buen ejemplo de lo que se ha explicado .

$$\hat{K}(d) = \frac{1}{N(N-1)h} \sum_{j_1=1}^{N-1} \sum_{j_2=j_1+1}^N f\left(\frac{d - d_{j_1, j_2}}{h}\right)$$

Se mide la densidad de las distancias bilaterales  $d$  entre las empresas.  $N$  es el número de empresas,  $d_{j_1}$  ,  $d_{j_2}$  miden la distancia entre dos empresas ,  $f$  es un kernel gaussiano y  $h$  es un parámetro de ancho de banda. La lógica de esta medida es comparar la distribución de las distancias geográficas entre pares de empresas en una industria, con un resultado al azar.

Otras ideas interesantes fueron proporcionados por Marcon y Puech (2003). Los autores desarrollaron la llamada *K- función de Ripley* que, lamentablemente no ha sido hasta ahora integrada con éxito total en ningún modelo de aglomeración. El último ejemplo de índices continuos que resulta prometedor es el derivado del trabajo de Dall'erba, Guillain y Gallo (2007). En este enfoque, se ha tomado en consideración la combinación de los casos discreto y continuo. La principal conclusión de los autores es que para el estudio de los clústeres es posible utilizar el caso discreto pero para la aglomeración podría no ser suficiente.

En segundo lugar, la dinámica del proceso de aglomeración tiene que considerarse debido a la naturaleza de la emergencia y los procesos de la evolución. Y por último pero no menos importante, la medida se "ajusta" a la necesidad del enfoque de microsimulación y los modelos basados en agentes. Dall'erba, Guillain y Gallo (2007), después de analizar esas dudas y deficiencias, concluyen que en el actual estado de conocimiento, la medida más adecuada sería el índice de Gini . Los

seguidores de estos tres autores indican que, de hecho, hay también otras dos medidas que se pueden utilizar, el denominado Coeficiente Moran I, que, lamentablemente, no se ha estudiado profundamente desde la publicación de referido trabajo de Dall'erba, Guillan y Gallo, y el ya señalado previamente índice de Herfindahl.

#### 4.3 Índice Herfindhal Ajustado (AHI)

Una de las preocupaciones expresadas en el apartado anterior ha sido la falta de incorporación de la dinámica del proceso de aglomeración en las medidas. De hecho, no hay ninguna metodología homogénea para estudiar la dinámica de los procesos de aglomeración ni un índice único que se recomiende en los estudios posteriores. De hecho, se han desarrollado un gran número de índices que llevaron a la presentación de un conjunto de estudios de caso, en lugar de elaborar una metodología unificada de la investigación. Mare (2005) calculó el índice de aglomeración de Ellison y Glaeser en Nueva Zelanda para tratar de incorporar algunos de los aspectos dinámicos. Duranton y Overman (2005) obtuvieron su K- índice para las industrias del Reino Unido, pero por una vía insuficiente en términos de modelización y medición de la dinámica. Aunque estos trabajos suponen una importante contribución a la comprensión y la medición de los fenómenos de aglomeración, una publicación anterior de Audretsch y Feldman (1996), que utiliza el índice de Gini parece ajustarse mejor a efectos de analizar y medir el surgimiento y la evolución de las aglomeraciones.

A la vista de esta situación, se ha optado por calcular un índice propio para medir tanto la aparición de aglomeración como su evolución en el espacio toroidal. Se basa en la conocida medida de la concentración denominada Índice de Herfindahl (HI) o de Hirschman - Herfindahl - (Hirschman, 1945; Herfindahl, 1950)- y se utiliza en la parte de investigación empírica, mientras que los modelos de localización, co-localización y aglomeración se desarrollan en Java. El índice HI se utiliza para ser calculado usando la fórmula explícita, y todo el proceso de cálculo se lleva a cabo por el programa desarrollado en RepastJava.

En este estudio se propone utilizar un indicador basado en el índice Herfindahl para estudiar la aparición y evolución de aglomeración en una retícula. Este índice puede tener un valor de  $1/N$  a 1, donde N es el número de celdas del espacio y s el porcentaje de la población ubicada en cada celda con respecto al total. En una retícula de 20x20, se obtiene un mínimo de 0.0025, cerca de cero. Sin embargo, este índice no reflejaría verdaderamente el grado de aglomeración. Se debe tener en cuenta el valor mínimo para poder considerar a los agentes concentrados. Ha de tenerse en cuenta que un valor superior al mínimo puede ser también el resultado de una ubicación aleatoria de los agentes. Por lo tanto, es necesario llevar a cabo una simulación Montecarlo con el fin de conocer el valor máximo del HI que puede ser considerado "normal " en una distribución aleatoria y que no se genera por las decisiones humanas.

Aunque incluso con una probabilidad baja la concentración máxima puede surgir al azar, se han realizado en cada caso 10,000 iteraciones y el valor máximo al azar se considera con una probabilidad del 99,99 %. Se ha encontrado así que la décima concentración más alta se toma como el resultado aleatorio en cada caso (HRO). Este HRO es siempre mayor que  $1/N$  y se considera el valor mínimo para el índice utilizado para calcular la aglomeración efectiva.

Consecuentemente, el índice que hemos desarrollado y se utiliza en la última parte del trabajo es un índice Herfindahl normalizado en el intervalo de 0 a 1, donde el valor máximo significa la máxima aglomeración. Este resultado debe interpretarse como que todos los agentes se encuentran en un solo punto. El valor cero e inferiores se obtienen para las distribuciones aleatorias. Cualquier número positivo se debe a una aglomeración real con una probabilidad de 99,99%. La expresión formal de este índice de Herfindahl ajustado es la siguiente:

$$HI_{aggl} = \frac{\sum_{i=1}^N (s^2) - HRO}{1 - HRO}$$

## 5. MICROSIMULACIÓN ESPACIAL PARA LA APARICIÓN Y EVOLUCIÓN DE LA CONCENTRACIÓN

La programación orientada a objetos es adecuada para el estudio, de forma objetiva, de los fundamentos microeconómicos de los resultados macroeconómicos. . Ello se debe a que la metodología utilizada para estudiar los sistemas está compuesta por las interacciones entre los agentes. Estos sistemas presentan determinadas propiedades emergentes que surgen de la interacción entre los agentes, cumpliendo con la idea de la criticidad auto-organizada<sup>4</sup>. En este contexto, se recuerda que las propiedades del conjunto no se pueden deducir de la suma de las propiedades de los agentes. Una vez que la distribución inicial de los agentes se define y se establece el modelo, los eventos ocurren debido a las interacciones entre los individuos. Estas interacciones se caracterizan de una manera dinámica por la estructura interna del modelo y las normas de comportamiento de sus componentes. Ambos deben especificarse en el modelo.

<sup>4</sup> La criticidad auto-organizada es una propiedad de los sistemas dinámicos. Este sistema tendrá un punto crítico como atractor. Por lo tanto, el comportamiento del sistema muestran la invariabilidad de escala espacial y temporal. No hay necesidad de ajustar los parámetros de control o puntos de partida en tales sistemas. Más en Bak y Paczuski (1995).

En todo caso, con el fin de crear un modelo de microsimulación adecuado, se deben seguir tres criterios básicos:

- Las personas deben clasificarse y caracterizarse con una base empírica.
- La escala y el alcance del modelo deben ser adecuados para sus objetivos,
- La especificación del modelo debe ser una simplificación "realista" de la realidad estudiada.

De hecho, sólo las ideas generales, aunque relevantes desde el punto de vista teórico, pueden extraerse de algunos de los trabajos existentes. Así, Gordon y McCann (2000), comenzaron a prestar atención al papel de las redes sociales en las aglomeraciones; Johansson y Quigley (2003) exploraron las complementariedades entre las redes y la aglomeración en la prestación de beneficios a los agentes, lo que supuso un notable avance en el estudio del papel de las diferentes tecnologías en la generación de los mismos resultados económicos; por último, Malmberg y Maskell (1997) justificaron la prevalencia de la aglomeración debido al pasado y su continuidad en el vínculo entre los agentes que están compartiendo innovaciones.

Debido a la anteriormente mencionada falta de vinculación de datos individuales, en los modelos desarrollados y que se presentarán a continuación se partirá de la relación de proximidad. El objeto de estudio y los objetos de los modelos son los individuos y las empresas, así como los sectores en su caso, definidos como agentes de los modelos. Los agentes están ubicados en un mapa de bits espacial (visualizado como una cuadrícula) donde llevan a cabo actividades. Con el fin de centrarse sólo en la dinámica interna de la aglomeración, el número de personas y las empresas no cambia durante la simulación. Alternativamente, una cantidad determinada de nuevos agentes podría crearse, lo que daría lugar a la evolución de las características de la distribución inicial.

Para cada uno de los dos modelos elaborados se presentan las características y el objeto de estudio, así como los conceptos de diseño y especificaciones funcionales. Los resultados de las simulaciones se detallan para cada uno de los escenarios predefinidos.

### 5.1. Modelo 1: Dinámica de localización de la población

La lógica de la presentación de los modelos que componen la parte empírica de este trabajo sigue las directrices elaboradas para los modelos basados en agentes de Dahlem (Wolf, Bouchard, Cecconi, Cincotti, Dawid, Gintis, van der Hoog, Jaeger, Kovalevsky, Mandel, Paroussos, 2011). Estas directrices se están convirtiendo en una referencia para la descripción de este tipo de modelos, especialmente en el campo de las ciencias sociales.

### 5.1.1 Información general

Este primer modelo analiza la dinámica de localización de la población, y trata de permitir una mejor comprensión del proceso relativo a cómo el individuo busca la mejor ubicación. En esta fase, el modelo no está destinado a ser una herramienta de pronóstico sino más bien una herramienta de generación de teoría. Los temas que se investigan son las decisiones de localización de la población, que dependen principalmente de la utilidad que se incorpora con el fin de obligar a los individuos a avanzar hacia la dirección más satisfactoria. Todos los agentes participan en el proceso de toma de decisiones.

Tras la inicialización del modelo se calcula el número total de agentes y se define su distribución inicial. Las distribuciones iniciales en el modelo pueden ser aleatorias o predefinidas. Los individuos se mueven en función del nivel de utilidad alcanzado en cada una de las celdas que están asignadas como posibles ubicaciones.

Los agentes son homogéneos, ya que tienen el mismo comportamiento en igualdad de circunstancias, excepto un bajo grado de aleatoriedad opcional incluido en su decisión de emigrar. Tienen un bajo grado de racionalidad y toman decisiones en base a los resultados actuales en lugar de hacer previsiones y utilizar estas predicciones para mejorar sus normas de conducta. Los agentes se relacionan entre sí a partir de la definición de barrio especificada por el usuario, entendida como el alcance del impacto de la actividad humana más cercana al agente.

### 5.1.2 Conceptos de diseño

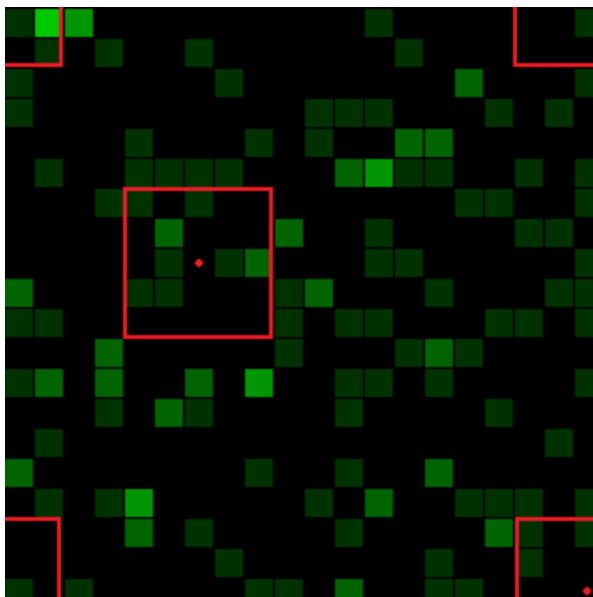
Antes de proceder a la presentación de la especificación funcional, se explican los principales conceptos y métodos utilizados en la simulación.

El espacio está formado por un conjunto de celdas cuadradas extendidas en un toroide de dos dimensiones que se define mediante las coordenadas de dos variables: X e Y. Ambos valores de las variables son números naturales en el intervalo (1, n); cada par de números naturales en ese intervalo identifica inequívocamente cada celda. Hay dos tipos de espacios: uno no toroidal (aquel que tiene las fronteras activas) y el toroidal (aquel en el que se han desactivado). Un ejemplo de retícula toroidal se proporciona en la Figura 3.



Figura 3

**Retícula toroidal y la densidad de población.**



Los cuadrados negros representan las áreas vacías, de color verde oscuro con baja densidad de población, el verde claro representa una alta densidad de población. En rojo dos barrios de von Neumann de distancia 2. Iteración:  $t = 0$  con la distribución inicial aleatoria.

Fuente: Elaboración propia

Cabe plantearse si al utilizar la red no toroidal los resultados extraídos del modelo nos darían la mejor aproximación a la realidad. No obstante, llevar a cabo el análisis utilizando la red no toroidal tiene su riesgo intrínseco. En la presencia de espacio no toroidal la aparición de las aglomeraciones es más sencilla y, lo que es aún más importante, la aglomeración es propensa a surgir en tal caso en el centroide de la red. Por lo tanto, es obligatorio el uso de un espacio toroidal, que permite definir un espacio continuo con barrios iguales, con varios de ellos que incluyen celdas que se presentan en partes distantes de la cuadrícula visualizada (véase la Figura 3).

En este primer modelo los agentes representan a personas que están en busca de una nueva localización en función del nivel de la utilidad y la satisfacción relacionada que obtienen de la ubicación de la zona en particular. En el algoritmo se definieron dos estados de agentes: uno activo o inestable y uno instalado o inactivo, dependiendo de si el agente sigue en busca de un nuevo lugar o no, respectivamente.

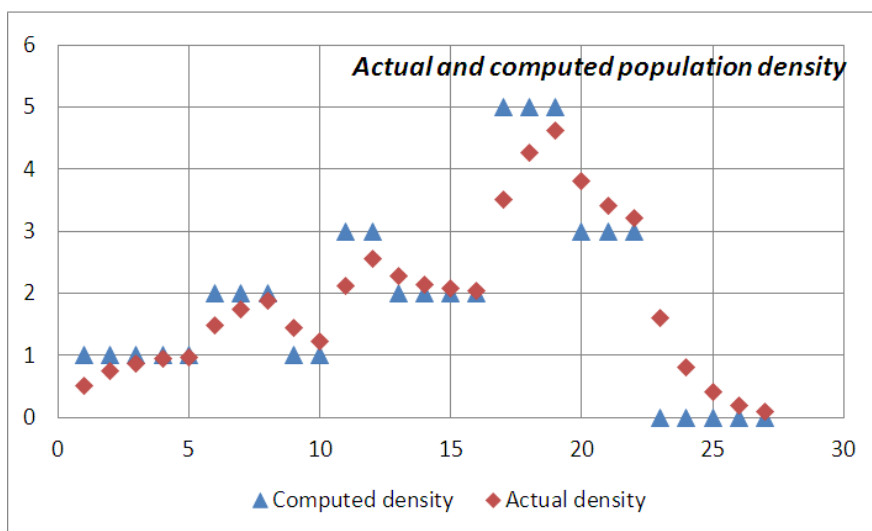
Es necesario definir la distribución inicial de agentes en el espacio (sus posiciones iniciales). En la literatura hay muchos procedimientos posibles de asignación. Puede ser completamente aleatorio o parcialmente al azar, dependiendo de la forma en que las coordenadas iniciales se definen en el programa en Java el resultado será diferente.

En nuestro caso definimos X e Y de forma aleatoria e independiente en cada caso.

Una vez que la distribución inicial está configurada, los agentes comienzan a moverse con el fin de maximizar su utilidad. Al comienzo del ciclo la utilidad es igual a 0. No obstante, los agentes no empiezan a moverse hasta que se realice la activación correcta. Es aquí cuando aparece la segunda dimensión de la geografía temporal analizada en el apartado segundo del trabajo. Con el fin de activar el movimiento del agente se define el punto de partida. Se podría definir al azar, pero entonces puede aparecer el problema de que algunas de las relaciones secuenciales no se activen en el momento deseado.

Figura 4

**Comparación entre la densidad de población real y la calculada.**



Fuente: Elaboración propia.

El espacio también se define como un objeto. Esto se hace para ser capaz de incorporar la capa adicional que permite la visualización y la exportación de la densidad de población en el espacio. Esta distribución de la población podría ser calculada incluyendo el proceso de aprendizaje (como un grado particular de memorizar los pasos de los individuos). Después de cada uno de los períodos, el individuo se añade la suma de todos los individuos a la mitad de la población calculada en la iteración anterior.

Tras este procedimiento, un individuo aislado calcula una población de 0,96875 después de cinco períodos, que como se aprecia converge rápidamente a la unidad. Cuando la célula se está quedando despoblada la población se reduce a 0 siguiendo la misma dinámica, pero en la dirección opuesta. Después de seis períodos, la población que se alcanza es de alrededor de 0,01562.

De este modo se cumplen tres objetivos. El primero de ellos es la memoria espacial (o proceso de aprendizaje espacial). En el diseño conceptual de dicha memoria espacial se toma en cuenta el pasado de localización de los individuos, ya que es un buen indicador de la disponibilidad de bienes raíces. El segundo es el de reducir el impacto de la aleatoriedad del comportamiento individual en el comportamiento de los otros agentes. El tercero se relaciona con la dinámica de los movimientos de los agentes. Las densidades de población presentan mayor estabilidad en cada período de tiempo modificando menos los niveles de utilidad de los agentes en cada periodo.

El análisis de la figura 4 permite extraer el siguiente resultado: la población calculada converge a la real rápidamente y los resultados de los modelos se ajustan a una velocidad conveniente en el caso de una mayor variación. Esta medida se introdujo para disminuir el impacto de la aleatoriedad en el sistema: con una probabilidad baja pero positiva una alta proporción de individuos puede decidir en el mismo instante cambiar la ubicación. A continuación, los patrones de aglomeración podrían evolucionar de un modo errático, introduciendo inestabilidad artificial en el sistema. Al presentar este tipo de memoria espacial en nuestro modelo, ciertas celdas que han sido ocupadas por varios períodos tienen más probabilidades de seguir siendo pobladas. Esto puede ser visto como un *proxy* de la disponibilidad de edificios, una limitación principal en el estudio de los factores determinantes de la evolución de aglomeración y un factor clave en la alta persistencia del fenómeno.

Todos los agentes tienen la misma función de utilidad, definida como la raíz cuadrada de la suma de las densidades de población de la zona definida como vecindario. Al mismo tiempo, la definición de la utilidad en nuestro modelo podría entenderse como la medida de la incomodidad cuando se alcanza una cantidad definida, por ejemplo, si los agentes se encuentran en una zona atestada. Los individuos buscan entonces maximizar su utilidad mientras se mueven dentro de la red, y pueden preferir puntos menos congestionados como ha ocurrido en los Estados Unidos en las últimas décadas, con el descenso gradual de la densidad de población en los centros urbanos.<sup>5</sup>

Existen dos maneras posibles de movimiento de los agentes: en el interior de toda la retícula o en el interior del barrio. Como se ha supuesto la norma de proximidad, se ha asumido el segundo procedimiento de búsqueda para la ubicación óptima en el modelo. Sin embargo, el usuario puede definir dos límites diferentes para los barrios,

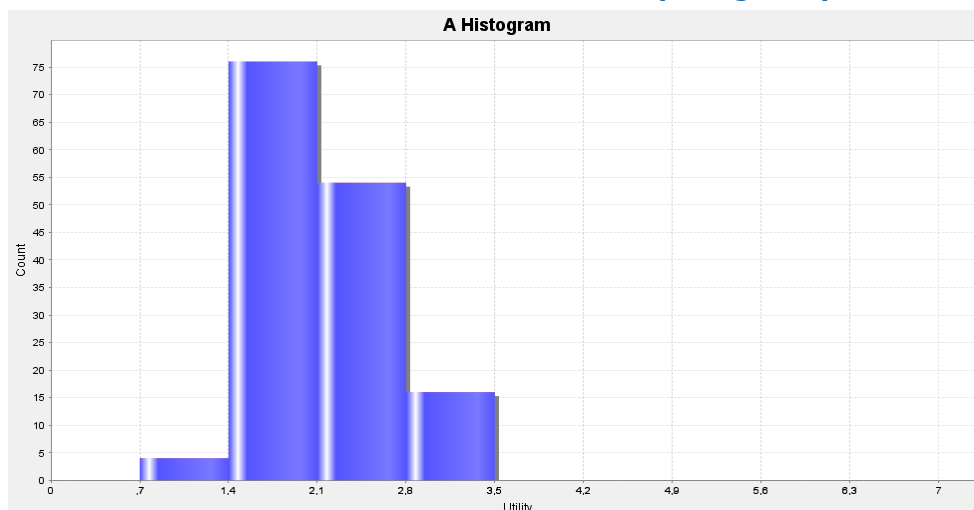
---

<sup>5</sup> Esto se puede ver en muchas ciudades occidentales, entre ellas Madrid, con una población de 3121 mil habitantes en 1970 (82,97 % de la región) que disminuyeron a 2939 mil habitantes en 1991 (54,19 % de la región). Durante ese período, el resto de la región aumentó su población un 44 %. Las motivaciones de este proceso son complejas y diversas (impuestos, racismo, la gentrificación, etc), pero puede ser simplemente modelizada como una insatisfacción de las personas ubicadas en zonas superpobladas.

uno representa las interacciones espaciales a nivel municipal , mientras que el otro permite migraciones regionales.

Figura 5

**Utilidades de los individuos iniciales (histograma)**



Fuente: Elaboración propia. La visualización del histograma y el resto de figuras extraídas del modelo en el Repast Symphony API.

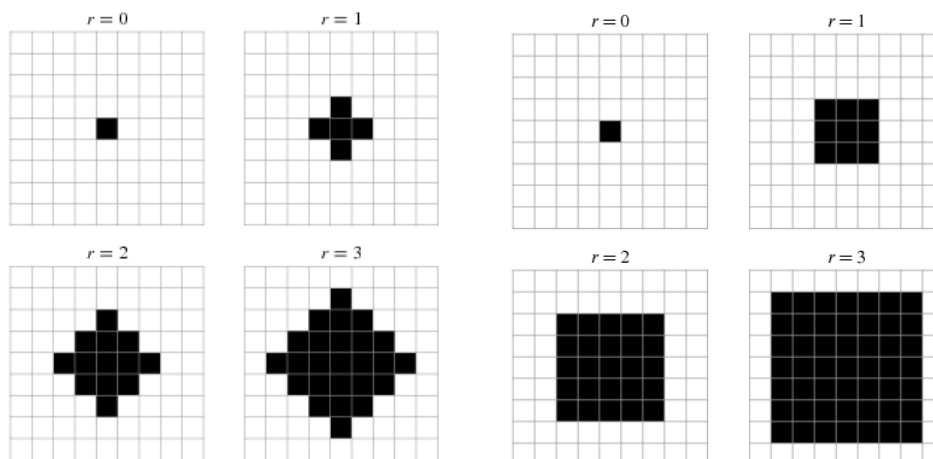
Hay tres maneras posibles de definir los barrios: el barrio de Moore, el barrio de Von Neumann y el euclidiano. El barrio de Moore está compuesto por ocho celdas que rodean una célula central en una red cuadrada de dos dimensiones, mientras que el barrio de Von Neumann se compone de cuatro células que rodean ortogonalmente la célula central de la misma red como se observa en la Figura 6.

Cuando la dimensión de la zona es relativamente pequeña, los tres tipos de barrio se ajustan al círculo. No obstante, cuando aumenta la escala, se obtiene la mejor aproximación de la realidad cuando se usa el barrio euclidiano.

Después de que se determine el número de iteraciones corriente (en la Figura 8 se asume  $t=0$ ,  $t=10$ ,  $t=20$ ,  $t=30$ ,  $t=40$ ), la aparición y la evolución de aglomeración se mide utilizando el indicador AHI dinámico definido previamente en la sección 4.3.

Figura 6

**Comparación de los barrios de Moore y de Von Neumann .**



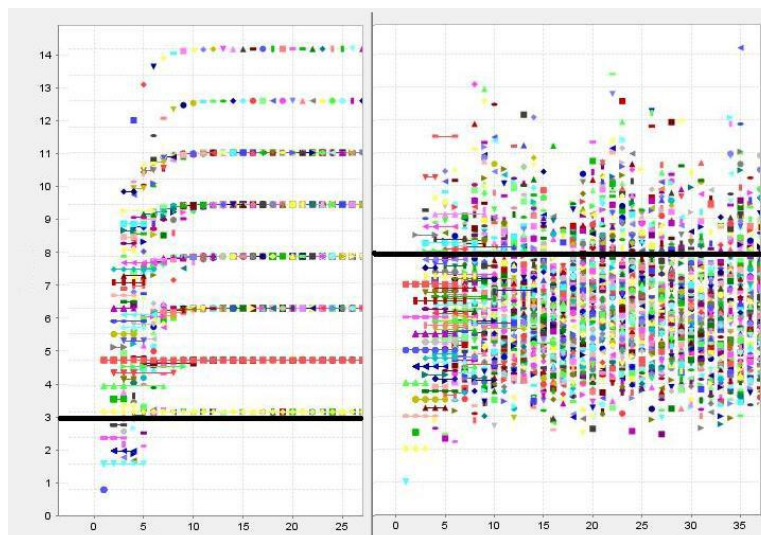
Fuente: WolfMath Enciclopedia <http://mathworld.wolfram.com/>

**5.1.3 Escenario 1: umbral mínimo**

En este escenario se analiza la importancia del umbral de nivel de utilidad mínima de los agentes. Es útil para determinar qué nivel de aparición de aglomeración se obtiene en función del nivel particular de las reglas de comportamiento de los agentes, dependiendo del nivel determinado de utilidad como el umbral mínimo. Cuando se alcanza este nivel predefinido los agentes deciden no moverse.

Figura 7

**Los niveles de los utilidad establecidos en  $u_1=3$  , y  $u_2=8$**

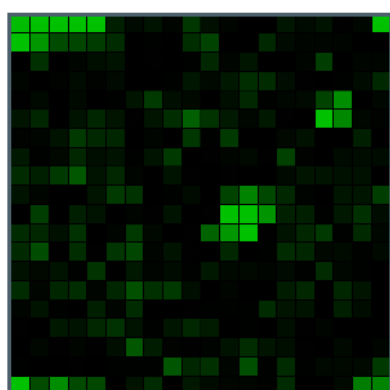


Fuente: Elaboración propia

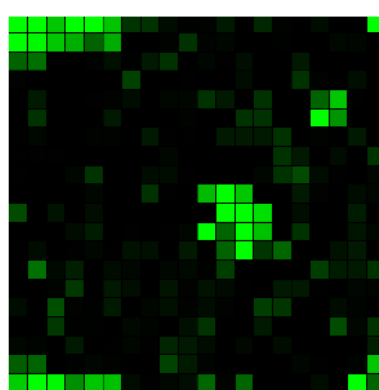
Cuando se supone que el umbral mínimo de utilidad en el nivel 3 (cada individuo quiere estar rodeado de al menos otros ocho agentes), la convergencia hacia el nivel de equilibrio se observa fácilmente con una densidad media de población de 0,2 hab/celda. Todos los individuos se mueven para alcanzar el nivel de utilidad igual o superior a 3 y todos ellos quedan en el equilibrio (todos ellos alcanzan el nivel suficiente de satisfacción). Por otro lado, cuando el umbral se establece en el nivel de, por ejemplo 8, relativamente más alto que el supuesto en el primer caso, el comportamiento de los agentes sigue las premisas del llamado modelo de racismo elaborado por Schelling y no se alcanza un equilibrio que satisfaga las necesidades de los agentes.

Figura 8

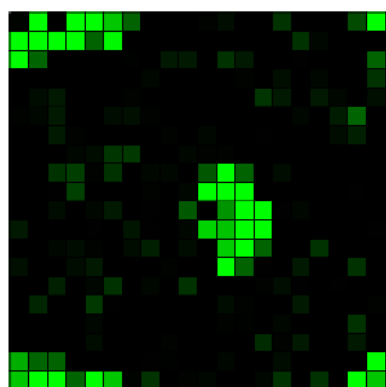
**Dinámica ubicación de los individuos en la red toroidal.**



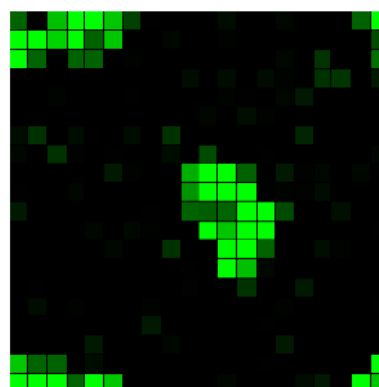
Iteration: t=10



Iteration: t=20



Iteration: t=30



Iteration: t=40

Fuente: Elaboración propia

Cuando el umbral es suficientemente alto, todas las personas deciden migrar al mismo tiempo y aparece la aglomeración. En este caso, también existe un equilibrio en las cercanías del umbral, pero la probabilidad de que la mayoría de los individuos alcancen el nivel requerido en el mismo tiempo es extremadamente baja. Como todas las personas quieren estar rodeadas de un gran número de individuos al mismo tiempo, lo que es una consecuencia directa de la definición de la función de utilidad, el estado de equilibrio no se alcanza fácilmente y el proceso de transición es especialmente importante.

Por último, cuando se supone que el nivel es intermedio, el equilibrio se alcanza fácilmente en una gama de 20 a 200 períodos en la mayoría de los casos. La lógica de este modelo y esta técnica se puede aplicar en los modelos más complejos que utilizan datos reales. En tal caso, el umbral tiene que determinarse por la calibración secuencial.

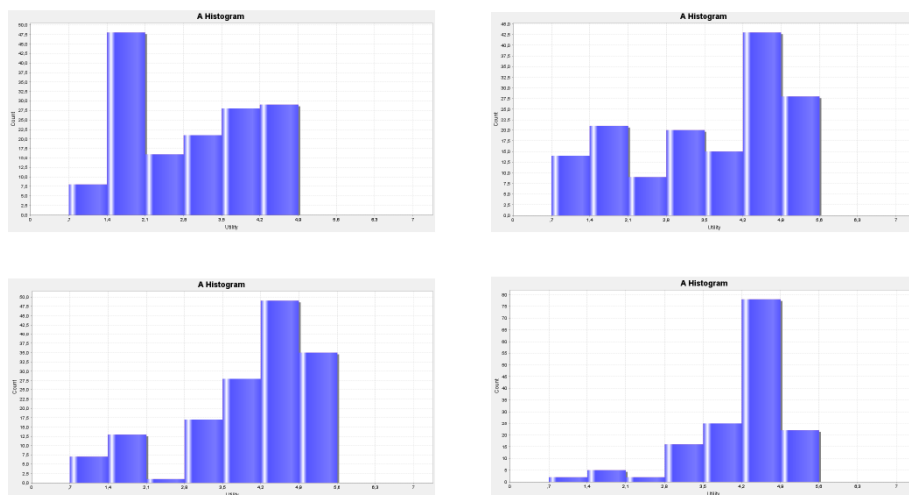
Como se muestra en la Figura 8, se alcanza el equilibrio en menos de 40 períodos, a excepción de un pequeño porcentaje de personas que se mueven aleatoriamente en una zona de radio de cinco, que representa la región. Esto permite una transferencia de la población entre varios clústeres de individuos, así como la posibilidad de que las concentraciones puedan ser disueltas, en particular si no alcanzan una masa crítica (téngase en cuenta la desaparición de una concentración en la esquina superior derecha entre los períodos vigésimo y trigésimo). Como se muestra en la figura con esta especificación del número de agentes, el valor de utilidad mínima requerida, la vecindad inmediata (relación espacial) y la zona de migración (región), emergen dos concentraciones, una de las cuales aparece fracturada en los bordes de la pantalla. Una vez excluyendo los casos en los que el equilibrio no se alcanza debido a un límite inferior demasiado alto, se observa como el AHÍ pasa de un rango inicial desde -0,076 a -0,009 a una concentración desde 0,3741 hasta 0,5184.

Sin embargo, además de la medición cuantitativa se puede ver cómo emerge aglomeración en la retícula, y lo que es más importante, el nivel de vecinos en la mayoría de los casos es mucho mayor que el mínimo establecido, a veces hasta cinco veces más alto. Suponiendo que las personas no quieren ubicarse en zonas despobladas, y están satisfechas cuando se encuentran en ciudades pequeñas, el resultado es que emergen y se mantienen en el tiempo grandes ciudades. Como se puede observar, el establecimiento de un único comportamiento de los individuos conduce a resultados que no podrían predecirse a priori por otros modelos que no utilizan técnicas de microsimulación.

Además de gráficamente en el espacio simulado se puede observar este comportamiento a partir de la distribución de las utilidades de los individuos a lo largo de los periodos de la simulación.

Figura 9

**Dinámica de ubicación de los individuos en la retícula toroidal.**



Fuente: Elaboración propia

La Figura 9 muestra la distribución de utilidad en los períodos del 10 al 40. La Figura 5 muestra una distribución inicial común que sigue una normal con media cercana a dos y desviación estándar 0,35. En el décimo período más de la mitad de las personas ya tienen una utilidad mayor que 2,8, el límite inferior que permite a los individuos estar satisfechos con su localización actual.

La distribución de las utilidades continúa aumentando su dispersión mientras que los individuos permanecen en concentraciones temporales, pero un pequeño número de agentes se incluyen en las aglomeraciones finales surgidas recientemente. En el período 30 se observa cómo la mayoría de los individuos se sitúa en su nivel de utilidad final, que tiende a una distribución normal con media 4,5. Todavía hay una proporción de personas insatisfechas con el resultado del movimiento realizado en el período anterior que les conduce a una zona poco poblada. La utilidad supera al límite inferior, obteniéndose un resultado a partir de las interacciones de los agentes en vez de estar predefinido por el modelo.

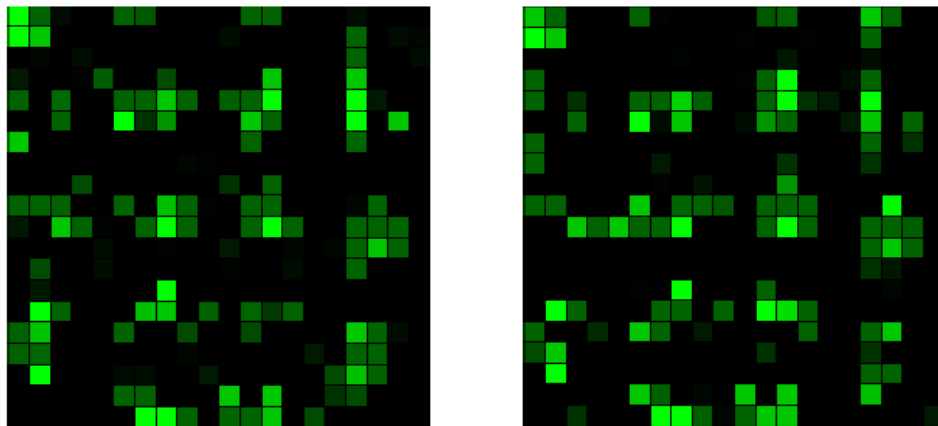
#### 5.1.4 Escenario 2: umbrales mínimos y máximos

En este escenario, se definen los niveles mínimo y máximo de servicios públicos. Esto permite modelizar los casos más realistas en los que nadie quiere vivir en zonas despobladas, pero por otro lado, tampoco se quiere residir en lugares hacinados. Cuando el número de vecinos máximo deseado no está activo los resultados son los mismos que en el primer escenario. Sin embargo, cuando ambas condiciones se encuentran activas, o simplemente se aplica la condición de máxima utilidad, se observa otro patrón de aglomeración (véase la figura 10)



Figura 10

**Dinámica ubicación de los individuos en la red toroidal con un nivel máximo de vecinos tolerados**



Fuente: Elaboración propia

Cuando se establece una restricción activa de un número máximo de vecinos en el barrio de la ubicación, se observa la aparición de un nuevo patrón de aglomeración. Ya no emerge un solo patrón de concentración. Ahora la mayor parte del espacio está ocupado y hay varios puntos de concentración que muestran una distribución multipolar rodeada de zonas con densidad media de población. Este patrón es tan estable como el anterior y no adopta una forma regular, como sucedió previamente. La distribución aparentemente regular que se obtiene en algunos casos se debe al número limitado de celdas en relación con la extensión de las agrupaciones.

En este caso, la aglomeración es menor que la obtenida en el escenario anterior, pero en todas las iteraciones, una vez que el equilibrio dinámico que se alcanza, se puede encontrar una aglomeración positiva con un AHI en el rango de 0,1891 hasta 0,2308. Como puede observarse, en ambos equilibrios surge una aglomeración que no puede explicarse a partir del azar.

## 5.2 Modelo 2: Dinámica de co-localización de empresas e individuos

### 5.2.1 Información general

En este modelo, se combinan dos tipos de agentes: empresas e individuos. No sólo se definen las preferencias de los agentes, utilidades y niveles de demanda, sino que también es relevante el concepto de visibilidad, pues permite simular racionalidad limitada. El objetivo de este modelo es el estudio de la co-ubicación de los dos tipos de agentes: los individuos y las empresas.

En el modelo, las empresas monoestablecimiento no tienen la capacidad de cambiar su ubicación. Durante cada período, un número predefinido de empresas desaparece. Las empresas que tienen la demanda más baja son sustituidas por nuevas empresas que se crean en otros lugares. Al mismo tiempo, hay otros agentes llamados individuos que compran una unidad del bien de la empresa que está situada más cerca de ellos. Si dos o más empresas se encuentran a la misma distancia se dividen la unidad entre todas ellas. Se asume que las personas pagan el coste de transporte de mercancías por lo que prefieren estar localizados junto al menos una compañía. Una ubicación en una zona superpoblada les produce desutilidad. Durante cada uno de los períodos, un número de individuos con el valor más bajo de utilidad migran a otro lugar.

### 5.2.2 Conceptos de diseño

Los conceptos definidos anteriormente en la sección 5.1.2 se mantienen y se añaden los siguientes.

Los nuevos agentes (empresas) se han de definir, así como el concepto de la demanda. La demanda de las empresas se calcula como el número total de consumidores potenciales en un barrio definido dividido en el número de competidores más uno. Por lo tanto, las empresas prefieren encontrarse cerca de concentraciones de personas, pero en otros lugares no tan potencialmente atractivos se enfrentarían a menos competencia y la demanda final en estas áreas será mayor en el largo plazo.

### 5.2.3 Especificación funcional

La descripción de modelos basados en agentes se suele acompañar con un pseudocódigo que explicita las órdenes dadas en la secuencia que compone el modelo, tal y como se muestra a continuación:

```
Create raster (grid): 20x20
Procedure40:
Create individuals (N1)
Set location (x,y)
Create firms (N2)
Set location (x,y)
Go to Firm location: Firm.location=random.individual(location)
Compute aggregate population per cell
Mark cells with firms
Count the number of firms in every marked cell, assign to firm
Compute distance: Use Von Neumann neighbourhood
For each individual 1 to N1
Compute the number of firms in the neighbourhood: n2
If n=0 next individual
Else increase the demand of each firm by 1/n2
Order firms by units sold increasingly
Delete the first N3 firms
Create firms N3 firms
Firm location=random.individual(location);
age,units,units_past=0, price= random.firm(price)
```

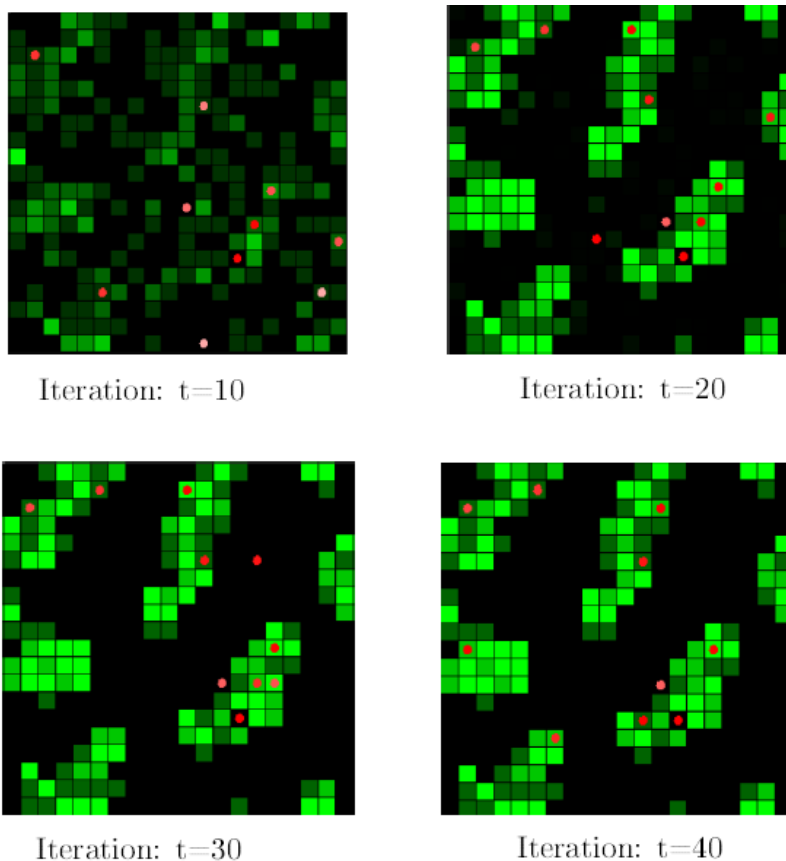
Compute individual utility  
Order individual by utility increasingly  
Change location of the first N4 individuals to random.individual(location)  
Export raster table,  
End period  
Parameters of the model:  
N1: number of individuals  
N2: number of firms  
N3: number of firms to close and open every period  
N4: number of individuals to migrate every period

#### 5.2.4 Consumidores y competidores en el mercado

Las empresas tratan de localizarse en las zonas más pobladas, pero alejadas de otras empresas para maximizar su demanda. En todas las iteraciones de la simulación las empresas con la demanda más baja se reemplazan por otras empresas que comienzan su actividad en otro lugar. Una vez logrado una ubicación conveniente los individuos no se mueven con el fin de obtenerse una distribución poblacional estable.

Figura 11

#### Dinámicas de co-ubicación de personas y empresas

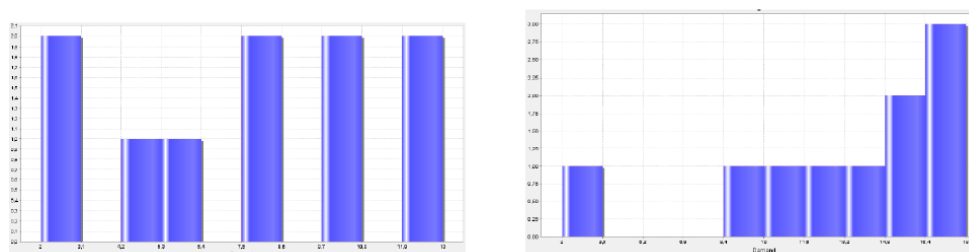


Fuente: Elaboración propia

La dinámica de equilibrio muestra como la zona más poblada, ubicada en el centro-derecha de la pantalla, tiene entre tres y cinco empresas en la mayoría de los períodos. Cuando el número es superior a cuatro, una de las empresas se convierte en la que tiene una menor demanda y desaparece.

Como se puede observar en los histogramas presentados a continuación, la distribución de la demanda es menos dispersa que en la distribución aleatoria inicial (presentada en el primer gráfico). El resultado más bajo del gráfico de la derecha corresponde a la demanda de una nueva empresa que se creó en una zona poco poblada. Esta empresa volverá a ser la que cierre en el próximo periodo de la simulación ya que tiene la menor demanda. En el caso de localizarse en la una zona poblada podrá rivalizar con otra empresa.

Figura 12  
Demanda en el modelo de co-localización.



Fuente: Elaboración propia

## 6. CONCLUSIONES

El objetivo de este trabajo es contribuir a los estudios de aglomeración y poner a prueba la aparición y persistencia de las aglomeraciones mediante modelos de microsimulación espacial. La metodología aplicada permite modelizar el complejo comportamiento de los agentes en los espacios toroidales y no toroidales así como el análisis de los determinantes de los patrones de localización, tales como clústeres o spawl. En el futuro, esta técnica se podrá utilizar como una herramienta de pronóstico de la evolución de aglomeración en las unidades espaciales.

Se han indicado las características más importantes del enfoque de la microsimulación espacial, incluyendo la forma en que el problema de la agregación espacial (MAUP) es superado con esta técnica. Como se ha enfatizado, dependiendo de cómo están diseñados los comportamientos, la misma distribución inicial de agentes puede dar como resultado un

patrón de baja concentración máxima, intermedia o errática. Esta divergencia en los patrones refleja dos patrones reales: grandes ciudades y regiones multipolares.

La investigación llevada a cabo en la localización de la población, así como en la co-ubicación de las empresas y la población que interacciona con ellas proporciona una serie de resultados interesantes en el contexto de la aparición y evolución de la aglomeración.

Del primer modelo planteado pueden destacarse los siguientes puntos: Con reglas de comportamiento simples es posible alcanzar dos patrones de localización diferentes. Uno donde aparece el más alto grado de aglomeración, con la existencia de una o varias zonas altamente pobladas; otro que surge cuando se establece un número máximo efectivo de vecinos tolerados y que se corresponde a una región multipolar con un resultado menor de aglomeración. Pueden representar, respectivamente, el área continental y las zonas costeras. En ambos casos la aglomeración emerge y persiste, y es mucho más alta que la que se explicaría solamente por los requisitos mínimos de los individuos sin tener en cuenta la dinámica de movilidad.

El segundo modelo ofrece resultados sobre la co-localización de las empresas y los individuos. Incluso sin introducir en el modelo el mercado de trabajo, sólo con la interacción del mercado de bienes y servicios se muestra la existencia de un patrón de co-localización. La competencia se introduce en el sistema con el fin de prevenir una excesiva clusterización y la consiguiente falta de demanda efectiva.

Aunque el enfoque de microsimulación espacial parece ser el futuro de los estudios de aglomeración, muchas dudas técnicas aún no se han podido aclarar; aparte de que deben ser reconsideradas mejoras y extensiones.

Entre las extensiones potenciales más importantes, lo que haría que los modelos y las previsiones fueran más fiables, pueden señalarse las siguientes. En primer lugar, las relaciones comerciales entre empresas pueden modelizarse y podría introducirse una función de costes más realista para las empresas en los modelos, haciendo la decisión sobre la localización más compleja. En segundo lugar, podría asumirse competencia en precios para lograr mejores resultados. Además, sería posible internalizar el comportamiento y las decisiones de los agentes sobre el mercado de trabajo. Por último, también existe la posibilidad de alterar las reglas de movilidad de acuerdo a las características de los agentes: la edad, los ingresos, etc. Las celdas pueden también tener características diferentes, como altura o la proximidad a la costa. Sin embargo, estas extensiones están más allá de los objetivos de este trabajo que pretende introducir la técnica y mostrar su alta potencialidad teórico-práctica.

## 7. BIBLIOGRAFÍA

ARBIA, G. (2001). MODELLING THE GEOGRAPHY OF ECONOMIC ACTIVITIES ON A CONTINUOUS SPACE. *PAPERS IN REGIONAL SCIENCE*, 80(4), 411-424.

AUDRETSCH, D. B., & FELDMAN, M. P. (1996). R&D SPILLOVERS AND THE GEOGRAPHY OF INNOVATION AND PRODUCTION. *THE AMERICAN ECONOMIC REVIEW*, 86(3), 630-640.

AXTELL, R.: (2000) WHY AGENTS ON THE VARIED MOTIVATIONS FOR AGENT COMPUTING IN THE SOCIAL SCIENCES. TECHNICAL REPORT 17, CENTER ON SOCIAL AND ECONOMICS DYNAMICS - THE BROOKINGS INSTITUTION.

BAK, P. AND PACZUSKI, M. (1995). COMPLEXITY, CONTINGENCY, AND CRITICALITY. *PROCEEDINGS OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES*, 92(15), 6689-6696.

BOMAN, M., & HOLM, E. (2004). MULTI-AGENT SYSTEMS, TIME GEOGRAPHY, AND MICROSIMULATIONS. *SYSTEMS APPROACHES AND THEIR APPLICATION*, 95-118.

CABALLERO, R. J. (2010). *MACROECONOMICS AFTER THE CRISIS: TIME TO DEAL WITH THE PRETENSE-OF-KNOWLEDGE SYNDROME* (NO. W16429). NATIONAL BUREAU OF ECONOMIC RESEARCH.

CLARKE, M., & HOLM, E. (1987). MICROSIMULATION METHODS IN SPATIAL ANALYSIS AND PLANNING. *GEOGRAFISKA ANNALER. SERIES B. HUMAN GEOGRAPHY*, 145-164.

CUADRADO ROURA, J. R. (2012). ¿ES TAN "NUEVA" LA "NUEVA GEOGRAFÍA ECONÓMICA"? SUS APORTACIONES, SUS LÍMITES Y SU RELACIÓN CON LAS POLÍTICAS. *DOCUMENTO DE TRABAJO 01/2012*. INSTITUTO UNIVERSITARIO DE ANÁLISIS ECONÓMICO Y SOCIAL.

DALL'ERBA, S., GUILLAIN, R., & LE GALLO, J. (2007). IMPACT OF STRUCTURAL FUNDS ON REGIONAL GROWTH: HOW TO RECONSIDER A 7 YEAR-OLD BLACK-BOX. *EUROPEAN STUDY GROUP DISCUSSION PAPER*; UNIVERSITY OF ARIZONA, 02-07.

DIXIT, A. K., & STIGLITZ, J. E. (1977). MONOPOLISTIC COMPETITION AND OPTIMUM PRODUCT DIVERSITY. *THE AMERICAN ECONOMIC REVIEW*, 67(3), 297-308.

DURANTON, G., & OVERMAN, H. G. (2005). TESTING FOR LOCALIZATION USING MICRO-GEOGRAPHIC DATA. *THE REVIEW OF ECONOMIC STUDIES*, 72(4), 1077-1106.

DURANTON, G., & OVERMAN, H. G. (2005). TESTING FOR LOCALIZATION USING MICRO-GEOGRAPHIC DATA. *THE REVIEW OF ECONOMIC STUDIES*, 72(4), 1077-1106.

- DURANTON, G., & PUGA, D. (2004). MICRO-FOUNDATIONS OF URBAN AGGLOMERATION ECONOMIES. *HANDBOOK OF REGIONAL AND URBAN ECONOMICS*, 4, 2063-2117.
- ELLISON, G., & GLAESER, E. L. (1999). THE GEOGRAPHIC CONCENTRATION OF INDUSTRY: DOES NATURAL ADVANTAGE EXPLAIN AGGLOMERATION?. *THE AMERICAN ECONOMIC REVIEW*, 89(2), 311-316.
- FERNÁNDEZ-VÁZQUEZ, E AND RUBIERA-MOROLLÓN, F. (2013). *DEFINING THE SPATIAL SCALE IN MODERN REGIONAL ANALYSIS*. SPRINGER, ADVANCES IN SPATIAL SCIENCE.
- FUJITA, M., & THISSE, J. F. (1996). ECONOMICS OF AGGLOMERATION. *JOURNAL OF THE JAPANESE AND INTERNATIONAL ECONOMIES*, 10(4), 339-378.
- FUJITA, M., KRUGMAN, P., & VENABLES, A. (1999). SPATIAL ECONOMICS. IN *PROCEEDINGS OF A WORKSHOP ORGANIZED BY THE CENTER FOR DEVELOPMENT RESEARCH AT THE UNIVERSITY OF BONN (ZEF BONN)-GERMANY*.
- GALLEGO, F. J. (2010). «A POPULATION DENSITY GRID OF THE EUROPEAN UNION, *POPULATION AND ENVIRONMENT*, 31, pp. 460-473.
- GIBBONS R., (1997). AN INTRODUCTION TO APPLICABLE GAME THEORY. *THE JOURNAL OF ECONOMIC PERSPECTIVES*, 11,(1), 127-145
- GORDON, I. R., & MCCANN, P. (2000). INDUSTRIAL CLUSTERS: COMPLEXES, AGGLOMERATION AND/OR SOCIAL NETWORKS?. *URBAN STUDIES*, 37(3), 513-532.
- GROSSMAN, G. M., & HELPMAN, E. (1991). TRADE, KNOWLEDGE SPILLOVERS, AND GROWTH. *EUROPEAN ECONOMIC REVIEW*, 35(2), 517-526.
- HELPMAN, E., & KRUGMAN, P. R. (1985). *MARKET STRUCTURE AND FOREIGN TRADE: INCREASING RETURNS, IMPERFECT COMPETITION AND THE INTERNATIONAL ECONOMY*. THE MIT PRESS.
- HERFINDAHL, O. C. (1950). *CONCENTRATION IN THE STEEL INDUSTRY* (DOCTORAL DISSERTATION, COLUMBIA UNIVERSITY.).
- HIRSCHMAN, A. O. (1945). *NATIONAL POWER AND THE STRUCTURE OF FOREIGN TRADE* (VOL. 17). BERKELEY: UNIVERSITY OF CALIFORNIA PRESS.
- JOHANSSON, B., & QUIGLEY, J. M. (2004). AGGLOMERATION AND NETWORKS IN SPATIAL ECONOMIES. IN *FIFTY YEARS OF REGIONAL SCIENCE* (PP. 165-176). SPRINGER BERLIN HEIDELBERG.
- KOMINERS S. (2008). *MEASURING AGGLOMERATIONS*, PRESENTED ON: THE HARVARD URBAN AND SOCIAL ECONOMICS SEMINAR.
- KUHN, T. S. (1996). *THE STRUCTURE OF SCIENTIFIC REVOLUTIONS*. UNIVERSITY OF CHICAGO PRESS.

- MALMBERG, A., & MASKELL, P. (1997). TOWARDS AN EXPLANATION OF REGIONAL SPECIALIZATION AND INDUSTRY AGGLOMERATION. *EUROPEAN PLANNING STUDIES*, 5(1), 25-41.
- MARCON, E., & PUECH, F. (2003). EVALUATING THE GEOGRAPHIC CONCENTRATION OF INDUSTRIES USING DISTANCE-BASED METHODS. *JOURNAL OF ECONOMIC GEOGRAPHY*, 3(4), 409-428.
- MARÉ, D. C. (2005). CONCENTRATION, SPECIALISATION AND AGGLOMERATION OF FIRMS IN NEW ZEALAND, MOTU WORKING PAPER 05-12, MOTU ECONOMIC AND PUBLIC POLICY RESEARCH
- MARSHALL, A. (1920). *PRINCIPLES OF ECONOMICS* (8TH ED.). LONDON: MACMILLAN. (ORIGINAL WORK PUBLISHED 1890)
- MARTÍ, F. P., & YEBRA, C. M. (2009). LOCALIZACIÓN EMPRESARIAL Y ECONOMÍAS DE AGLOMERACIÓN: EL DEBATE EN TORNO A LA AGREGACIÓN ESPACIAL. *INVESTIGACIONES REGIONALES*, (15), 139-166.
- MAS-COLELL, A., WHINSTON, M. D., & GREEN, J. R. (1995). *MICROECONOMIC THEORY* (VOL. 1). NEW YORK: OXFORD UNIVERSITY PRESS.
- MAUREL, F., & SÉDILLOT, B. (1999). A MEASURE OF THE GEOGRAPHIC CONCENTRATION IN FRENCH MANUFACTURING INDUSTRIES. *REGIONAL SCIENCE AND URBAN ECONOMICS*, 29(5), 575-604.
- MYERSON, R. B. (1978). REFINEMENTS OF THE NASH EQUILIBRIUM CONCEPT. *INTERNATIONAL JOURNAL OF GAME THEORY*, 7(2), 73-80.
- OPENSHAW, S. AND TAYLOR, P. (1979). A MILLION OR SO CORRELATION COEFFICIENTS: THREE EXPERIMENTS ON THE MODIFIABLE AREA UNIT PROBLEM. IN N. WRIGLEY (ED). *STATISTICAL APPLICATIONS IN THE SPATIAL SCIENCES*. PP. 127-144
- OTTAVIANO, G., & THISSE, J. F. (2004). AGGLOMERATION AND ECONOMIC GEOGRAPHY. *HANDBOOK OF REGIONAL AND URBAN ECONOMICS*, 4, 2563-2608.
- OTTAVIANO, G.I.P. AND J-F THISSE. 2001. ON ECONOMIC GEOGRAPHY IN ECONOMIC THEORY: INCREASING RETURNS AND PECUNIARY EXTERNALITIES, *JOURNAL OF ECONOMIC GEOGRAPHY*, 1(2), 153-180.
- OTTER, H. S., VAN DER VEEN, A., & DE VRIEND, H. J. (2001). ABLOOM: LOCATION BEHAVIOUR, SPATIAL PATTERNS, AND AGENT-BASED MODELLING. *JOURNAL OF ARTIFICIAL SOCIETIES AND SOCIAL SIMULATION*, 4(4).
- PABLO-MARTÍ, F. & MUÑOZ-YEBRA, C. (2009). THE MAUP IN THE FIRM'S LOCATION AND THE ECONOMIES OF AGGLOMERATION, *INVESTIGACIONES REGIONALES*, ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE CIENCIA REGIONAL, 15, 139-166.
- PARR, J. B. (2004). ECONOMIES OF SCOPE AND ECONOMIES OF AGGLOMERATION: THE GOLDSTEIN-GRONBERG CONTRIBUTION REVISITED. *THE ANNALS OF REGIONAL SCIENCE*, 38(1), 1-11.



PRED, A. R. (1966). *THE SPATIAL DYNAMICS OF US URBAN-INDUSTRIAL GROWTH, 1800-1914: INTERPRETIVE AND THEORETICAL ESSAYS* (p. 174). CAMBRIDGE, MA: MIT PRESS.

SANTOS, J. L. (2012). LA NECESIDAD DE UN CAMBIO DE PARADIGMA EN LA PREDICCIÓN ECONÓMICA. DEL EQUILIBRIO GENERAL A LOS MODELOS BASADOS EN AGENTES. *ENCRUCIJADAS. REVISTA CRÍTICA DE CIENCIAS SOCIALES*, 4, 133-150.

SIMON, H. A. (1990). A MECHANISM FOR SOCIAL SELECTION AND SUCCESSFUL ALTRUISM. *SCIENCE*, 250(4988), 1665-1668.

SIMON, H. A. (1991). BOUNDED RATIONALITY AND ORGANIZATIONAL LEARNING. *ORGANIZATION SCIENCE*, 2(1), 125-134.

STARRETT, D. (1978). MARKET ALLOCATIONS OF LOCATION CHOICE IN A MODEL WITH FREE MOBILITY. *JOURNAL OF ECONOMIC THEORY*, 17(1), 21-37.

TABUCHI, T. (1998). URBAN AGGLOMERATION AND DISPERSION: A SYNTHESIS OF ALONSO AND KRUGMAN. *JOURNAL OF URBAN ECONOMICS*, 44(3), 333-351.

VELUPILLAI, K. V. (2011). TOWARDS AN ALGORITHMIC REVOLUTION IN ECONOMIC THEORY. *JOURNAL OF ECONOMIC SURVEYS*, 25(3), 401-430.

WOLF, S., BOUCHAUD, J.P., CECCONI, F., CINCOTTI, S., DAWID, D., GINTIS, H., HOOG, S., JAEGER, C.C., KOVALEVSKY, D.V., MANDEL, A. AND PAROUSSOS, L. (2011) DESCRIBING ECONOMIC AGENT-BASED MODELS, DAHLEM ABM DOCUMENTATION GUIDELINES. IN: *PROCEEDINGS OF THE 100TH DAHLEM CONFERENCE ON NEW APPROACHES IN ECONOMICS AFTER THE FINANCIAL CRISIS*.

## DOCUMENTOS DE TRABAJO

La serie Documentos de Trabajo que edita el Instituto Universitario de Análisis Económico y Social (IAES), incluye avances y resultados de los trabajos de investigación realizados como parte de los programas y proyectos del Instituto y por colaboradores del mismo.

Los Documentos de Trabajo se encuentran disponibles en internet

<http://ideas.repec.org/s/uae/wpaper.html>

ISSN: 2172-7856

## ÚLTIMOS DOCUMENTOS PUBLICADOS

### [WP-05/13 EDUCACIÓN FINANCIERA PARA JÓVENES: UNA VISIÓN INTRODUCTORIA](#)

José M. Domínguez Martínez

### [WP-06/13 RECENT CYCLICAL MOVEMENTS IN THE SPANISH PRODUCTIVITY. AN AGGREGATE AND SECTORAL ANALYSIS](#)

Andrés Maroto-Sánchez y Juan R. Cuadrado-Roura

### [WP-07/13 LA FINANCIACIÓN TRADICIONAL DE LAS PYMES EN ESPAÑA: UN ANÁLISIS EN EL MARCO DE LA UNIÓN EUROPEA](#)

Francisco del Olmo García

### [WP-08/13 A NON PARAMETRIC ANALYSIS OF THE RELATIVE PERFORMANCE AND EFFICIENCY PATTERNS OF SERVICE INDUSTRIES IN THE ADVANCED COUNTRIES](#)

Andrés Maroto-Sánchez

### [WP-09/13 FROM COMPLEMENTS TO SUBSTITUTES: STRUCTURAL BREAKS IN THE ELASTICITY OF SUBSTITUTION BETWEEN PAID-EMPLOYMENT AND SELF-EMPLOYMENT IN THE US](#)

Emilio Congregado, Vicente Esteve y Antonio A. Golpe

### [WP-10/13 SUSTAINABILITY OF EXTERNAL IMBALANCES IN THE OECD COUNTRIES](#)

Oscar Bajo-Rubio, Carmen Díaz-Roldán y Vicente Esteve



Universidad  
de Alcalá

Plaza de la Victoria, 2. 28802. Alcalá de Henares. Madrid - Telf. (34)918855225  
Fax (34)918855211 Email: [iaes@uah.es](mailto:iaes@uah.es). [www.iaes.es](http://www.iaes.es)

## INSTITUTO UNIVERSITARIO DE ANÁLISIS ECONÓMICO Y SOCIAL

### DIRECTOR

**Dr. D. Tomás Mancha Navarro**

Catedrático de Economía Aplicada, Universidad de Alcalá

### DIRECTOR FUNDADOR

**Dr. D. Juan R. Cuadrado Roura**

Catedrático de Economía Aplicada, Universidad de Alcalá

### SUBDIRECTORA

**Dra. Dña. Elena Mañas Alcón**

Profesora Titular de Universidad, Universidad de Alcalá

### AREAS DE INVESTIGACIÓN

#### ANÁLISIS TERRITORIAL Y URBANO

**Dr. D. Rubén Garrido Yserte**

Profesor Titular de Universidad  
Universidad de Alcalá

#### ECONOMÍA LABORAL

**Dr. D. Carlos Iglesias Fernández**

Profesor Titular de Universidad  
Universidad de Alcalá

#### ACTIVIDAD EMPRENDEDORA Y PEQUEÑA Y MEDIANA EMPRESA

**Dr. D. Antonio García Tabuenca**

Profesor Titular de Universidad  
Universidad de Alcalá

#### SERVICIOS E INNOVACIÓN

**Dr. D. Juan R. Cuadrado Roura**

Catedrático de Economía Aplicada  
Universidad de Alcalá

#### RESPONSABILIDAD SOCIAL CORPORATIVA

**Dra. Dña. Elena Mañas Alcón**

Profesora Titular de Universidad  
Universidad de Alcalá