

Accesibilidad laboral de los municipios aragoneses basada en flujos origen-destino*

M^a Pilar Alonso Logroño

Departamento de Geografía y Sociología
Universidad de Lérida

M^a Asunción Beamonte San Agustín

Departamento de Estructura e Historia Económica Pública
Universidad de Zaragoza

Pilar Gargallo Valero

Departamento de Estructura e Historia Económica Pública
Universidad de Zaragoza

Manuel Salvador Figueras

Departamento de Estructura e Historia Económica Pública
Universidad de Zaragoza

Resumen

Este trabajo utiliza la matriz de desplazamientos laborales diarios para analizar la accesibilidad de los municipios como lugar de residencia y como lugar de trabajo, tomando como caso de estudio la comunidad aragonesa. Para llevar a cabo este análisis se propone una versión modificada del algoritmo Place Rank de El-Geneidy y Levinson (2011) que permite calcular la accesibilidad de un municipio como destino utilizando los flujos de trabajadores que le llegan ponderados por la importancia de su localidad de procedencia. Además, se adapta dicho algoritmo para estudiar la accesibilidad de un municipio como origen del desplazamiento, o equivalentemente, el atractivo de la localidad como lugar de residencia. Finalmente, se plantean modelos de regresión para determinar qué características socio-demográficas de los municipios aragoneses facilitan que éstos tengan un mayor grado de accesibilidad laboral y atractivo para vivir.

Palabras clave: Accesibilidad laboral; Place Rank; Desplazamientos laborales; Atractivo Residencial

Clasificación AMS: 62P25, 91B72, 91B40, 90B06

* Queremos agradecer la labor de dos evaluadores anónimos que, con sus observaciones, comentarios y sugerencias han contribuido a mejorar sustancialmente los contenidos de versiones previas del trabajo.

Labour accessibility of the aragonese municipalities based on origin-destination flows

Abstract

In this work we use the commuting matrix to analyze the accessibility of the municipalities as places to reside and/or work, taking Aragon (Spain) as a case study. To that aim, a modified version of the Place Rank algorithm (El-Geneidy and Levinson, 2011) is proposed. This method uses origin-destination flows weighting these displacements by the attractiveness of the origin zone. Furthermore, the algorithm is adapted to estimate the accessibility of a municipality as a residence place. Finally, regression models are built to determine the socio-demographic characteristics of the Aragonese municipalities that are related to their labour accessibility and attractiveness to live in them.

Keywords: Labour accessibility; Place rank; Commuting; Residence attractiveness

AMS Classification: 62P25, 91B72, 91B40, 90B06

1. Introducción

El estudio de los desplazamientos que la población ocupada realiza de manera cotidiana entre el lugar de residencia y el lugar de trabajo se ha convertido, desde hace años, en un aspecto fundamental para entender el comportamiento en la organización de muchos territorios. Su análisis no es nuevo en la literatura ya que, desde el planteamiento de los primeros modelos que analizan esta temática (Alonso, 1964), las publicaciones dedicadas a explicar las interacciones espaciales entre los lugares de trabajo y los de residencia se han ido incrementando. Sin embargo, también es verdad que es una cuestión cambiante en nuestra sociedad y, por tanto, necesitada de una revisión continua de las técnicas de trabajo. Así, por ejemplo, los flujos de los desplazamientos ya no tienen una sola dirección como en el pasado, sino que los movimientos pueden ser centrífugos o centrípetos, y el anclaje de las personas a los territorios es menor porque la generalización y el abaratamiento de los medios de transporte facilitan la multiplicación de los flujos. Éstos, además, son cada vez más largos y complejos, configurándose estructuras territoriales que traspasan los límites municipales (Pazos y Alonso, 2009).

Dentro de los estudios de los desplazamientos laborales, hay un elemento que interviene en la definición de las interacciones que surgen entre los territorios: es el concepto de accesibilidad, término sin una única definición. La palabra “accesibilidad” procedente de las palabras “acceso” y “habilidad” significa habilidad para acceder o aproximarse a algo. Sin embargo, este término se usa frecuentemente de forma incorrecta y se confunde con el término movilidad. La movilidad es un concepto vinculado a las personas o mercancías que se desplazan y se utiliza como medida de los propios desplazamientos, mientras que la accesibilidad es un concepto vinculado a los lugares, a la posibilidad de obtención de un bien, un servicio y, por extensión, se utiliza el término para indicar la facilidad de acceso de usuarios y productos o servicios a un determinado

lugar. La accesibilidad, por consiguiente, se valora bien en relación al coste o dificultad de desplazamiento que requiere la satisfacción de las necesidades, bien en relación al coste o dificultad de que los productos o usuarios alcancen el lugar en cuestión.

Además de las diferencias conceptuales entre accesibilidad y movilidad, debemos señalar que la relación entre ellas no siempre es directa. Altos niveles de movilidad no tienen por qué corresponderse con altos niveles de accesibilidad. Así, por ejemplo, dentro de Aragón comparamos dos localidades que pertenecen a una misma comarca pero con tamaños demográficos muy diferentes: Zaragoza y María de Huerva. La primera, según el último dato del padrón, tiene 674.725 habitantes y la segunda 5.048 (diciembre de 2011). Viajar dentro de una gran ciudad como Zaragoza es lento debido a los problemas de circulación. Sin embargo, los ciudadanos tienen acceso a muchas oportunidades de todo tipo en un corto espacio de tiempo al existir una gran oferta comercial, cultural y de servicios en general. En María de Huerva, por el contrario, la circulación por las calles y carreteras es ágil y se necesita poco tiempo para desplazarse dentro de su circunscripción, pero el nivel de accesibilidad de la localidad en términos de oportunidades es bajo, debido a que la oferta de servicios es mucho menor. Por tanto, se considera que Zaragoza tiene un nivel alto de accesibilidad mientras que la movilidad en María de Huerva es mayor.

Otra de las acepciones de la palabra accesibilidad es la que hace referencia al grado de conectividad entre los lugares de residencia y los de trabajo, es decir, a la facilidad para acceder a los puestos de trabajo. La medición de este aspecto suele llevarse a cabo mediante indicadores que ponen a la red de infraestructuras como variable fundamental para su explicación. En el caso de Aragón existen resultados planteados bajo esta perspectiva ya desde hace bastantes años. Cabe destacar, en este sentido, los indicadores propuestos por Calvo y otros (1992) sobre accesibilidad a los distintos puntos de la comunidad según la red de infraestructuras.

En éstas y otras concepciones sobre la forma de medir la accesibilidad, aún sin existir un consenso general, se tienen en cuenta, de forma habitual, dos aspectos contrapuestos: el atractivo de cada lugar y la impedancia o dificultad de acceso al mismo. Por ejemplo, en el caso de la accesibilidad a centros comerciales, el atractivo puede ser el número de tiendas en esa superficie, mientras que la impedancia podría medirse mediante el tiempo medio de desplazamiento a dichos centros. En nuestro caso, puesto que pretendemos medir la accesibilidad laboral, el valor del atractivo se expresa como número de puestos de trabajo en el lugar de destino y la impedancia mediante la distancia o el tiempo de desplazamiento.

En la literatura se ofrecen diversas formas de medir la accesibilidad. El-Geneidy y Levinson (2011) distinguen varios tipos de medidas.

La medida de oportunidad acumulada o isocrónica (Vickerman 1974; Wachs y Kumagai 1973) que cuenta el número de oportunidades que pueden alcanzarse en un tiempo de desplazamiento predeterminado (o en una distancia concreta). La principal ventaja de esta medida es su sencillez de cálculo y puede utilizarse, por ejemplo, para identificar el número de localizaciones que ofrecen un determinado servicio a una distancia inferior a

una dada. Sin embargo, tiene el inconveniente de no considerar ni el atractivo ni la impedancia del destino. Este coeficiente es utilizado en modelización hedónica para controlar el acceso a los servicios públicos en un barrio o en una localidad.

Otra medida más flexible e interpretable es la basada en los modelos gravitatorios (Hansen, 1959) que utiliza una función de impedancia para evaluar el coste del viaje a los posibles destinos. Su principal inconveniente es la falta de consenso sobre la función de impedancia a utilizar. En la práctica se han propuesto varias funciones (potencial, exponencial, logarítmica) sin que de forma clara se haya podido establecer cual o cuales ofrecen mejores resultados. Además, esta medida necesita el coste de cada viaje, que no siempre está disponible o bien cuantificado.

Por último, son muy utilizadas las llamadas medidas en competición que, por una parte, miden el número de oportunidades potenciales de empleo de una localidad determinada y, por otra, el número de buscadores potenciales de empleo en la misma, calculando posteriormente el cociente entre ellos. Estas dos cantidades se estiman a partir de modelos de interacción espacial como, por ejemplo, el modelo doblemente restringido de Wilson (1971), que supone que el valor de las oportunidades de trabajo en cada localidad es el mismo para todos los trabajadores y que sólo depende de su número y no de su atractivo específico, restando realismo a la medida calculada.

En este artículo estamos interesados en cuantificar el grado de atracción de un territorio como lugar de trabajo (o grado de accesibilidad laboral como destino) así como su grado de atracción como lugar de residencia para acceder a un trabajo (o grado de accesibilidad laboral como origen). Para ello nos basaremos en la información proporcionada por los desplazamientos diarios de los trabajadores desde su lugar de residencia a su lugar de trabajo, y utilizaremos como medida de la accesibilidad una modificación del denominado método “Place Rank” propuesto por El-Geneidy y Levinson (2011). Dicho método está inspirado en la metodología desarrollada por Brin y Page (1998), creadores de Google, para elaborar rankings de páginas web en procesos de búsquedas a gran escala por Internet. El método Place Rank calcula medidas de accesibilidad como destino de los lugares considerados, a partir de la información proporcionada por matrices de desplazamientos, ponderando cada uno de ellos según el atractivo de sus orígenes. Este tipo de algoritmos es relativamente nuevo y ha sido utilizado en procesos de planificación urbana teniendo en cuenta el comportamiento viajero de los individuos (ver, por ejemplo, Jiang 2009).

La modificación propuesta corrige algunas de las deficiencias de este algoritmo que hemos detectado al aplicarlo a localidades aisladas, caso muy común en Aragón, comunidad en la que existen zonas bastante despobladas. Así mismo, proponemos un algoritmo tipo Place Rank para calcular la accesibilidad de origen de un desplazamiento laboral, es decir, el atractivo de un lugar como residencia, algo que, a nuestro nivel de conocimiento, es nuevo en la literatura.

Utilizando los algoritmos propuestos, analizamos la accesibilidad laboral como destino y el atractivo para residir de los municipios de la Comunidad Autónoma de Aragón e

identificamos algunas de las variables socio-demográficas relevantes para caracterizar el territorio aragonés en función de su accesibilidad mediante modelos de regresión.

El esquema del trabajo es el siguiente: en la Sección 2 se presenta la metodología Place Rank y se modifican algunos aspectos de la misma con el fin de, por un lado, corregir las deficiencias de la aplicación del método cuando existen localidades aisladas en la matriz de desplazamientos y, por el otro, para adaptarla a la medición del grado de atractivo de los municipios para residir en ellos. En la Sección 3 se aplica la metodología al caso aragonés. Finalmente, la Sección 4 concluye y presenta las futuras líneas de investigación.

2. Accesibilidad laboral basada en flujos origen-destino

El método para medir la accesibilidad utilizado en esta investigación se basa en el denominado Place Rank, propuesto recientemente por El-Geneidy y Levinson (2011). Este algoritmo maneja exclusivamente la información proporcionada por los flujos de trabajadores origen-destino y se describe a continuación.

2.1 El algoritmo *Place Rank*

Sea $B = \{B_1, \dots, B_K\}$ el conjunto de unidades espaciales básicas en las que se encuentra dividido el territorio objeto de estudio (en nuestro caso el territorio es Aragón y las unidades espaciales básicas sus municipios, siendo $K = 729$).

Sea $N = (n_{ij})$ la matriz de flujos origen-destino donde n_{ij} es el número de trabajadores que se desplazan por motivos laborales entre B_i y B_j .

Utilizando la matriz de flujos N , el algoritmo proporciona un conjunto de medidas de accesibilidad $\{a_i^d; i = 1, \dots, K\}$ para cada una de las unidades espaciales básicas $\{B_i; i = 1, \dots, K\}$ que reflejan su potencial atractivo como destino, es decir, como lugar de trabajo.

Sea $E_t = (e_{ij,t})$ donde $e_{ij,t}$ mide el número de trabajadores que se desplazan en la iteración t del algoritmo de la unidad espacial básica B_i a B_j , ponderando cada desplazamiento proporcionalmente al nivel de atractivo estimado para el origen B_i .

Sea $D_t = (d_{j,t})$ donde $d_{j,t}$ es el número estimado, de forma ponderada, de personas que trabajan en la unidad espacial básica B_j en la iteración t .

Sea $O_t = (o_{i,t})$ donde $o_{i,t}$ es el número estimado, de forma ponderada, de trabajadores residentes en la unidad espacial básica B_i en la iteración t .

Sea $W_t = (w_{i,t})$ donde $w_{i,t}$ es el peso asociado a cada trabajador que parte de B_i en la iteración t .

El algoritmo *Place Rank* consta de los siguientes pasos:

Paso 0 (Inicio)

Fijar $tol > 0$ nivel de tolerancia que determina la convergencia del algoritmo.

Tomar $e_{ij,0} = n_{ij}$; $i, j = 1, \dots, K$. Calcular $d_{i,0} = n_i = \sum_{j=1}^K n_{ij}$, $o_{i,0} = n_i = \sum_{j=1}^K n_{ij}$ y

$w_{i,0} = \frac{d_{i,0}}{o_{i,0}}$ para $i = 1, \dots, K$. Poner $t = 1$ e ir al paso 1.

Paso 1 (Cálculo de la matriz de desplazamientos)

Calcular $e_{ij,t} = n_{ij} w_{i,t-1}$ para $i, j = 1, \dots, K$

Paso 2 (Cálculo de las accesibilidades)

Calcular $d_{i,t} = \sum_{k=1}^K e_{ki,t}$ y $w_{i,t} = \frac{d_{i,t}}{n_i}$ para $i = 1, \dots, K$

Paso 3 (Condición de finalización)

Si $\max_{1 \leq i \leq K} \{ \|d_{i,t-1} - d_{i,t}\| \} \leq tol$ poner $a_i^d = d_{i,t}$ y parar.

En otro caso poner $t = t + 1$ e ir al paso 1.

Como consecuencia del algoritmo se obtienen las accesibilidades de destino $\{a_i^d; i = 1, \dots, K\}$ de las unidades espaciales básicas $\{B_i; i = 1, \dots, K\}$ que reflejan su potencial atractivo como lugar de trabajo.

Observaciones

- 1) El algoritmo no utiliza, de forma explícita, ni el atractivo ni la impedancia de las distintas oportunidades, laborales en nuestro caso, sino que considera que dicha información está incorporada en el origen y destino elegidos por cada persona. Los individuos contribuyen al ranking de las distintas localidades con una intensidad que depende del atractivo de su lugar de origen. Además, y a diferencia de otras medidas de accesibilidad que valoran por igual a todos los destinos distinguiendo únicamente por el tiempo de desplazamiento hasta ellos, el método *Place Rank* se centra en el valor implícito de los destinos más que en la facilidad para alcanzarlos. Para ello manipula directamente los flujos de trabajadores origen-destino, no requiriendo ni del conocimiento del tiempo de viaje ni de cualquier otra información sobre la ordenación del territorio.
- 2) Las medidas de accesibilidad obtenidas por este método están basadas en elecciones reales de orígenes y destinos. Estudios longitudinales como, por ejemplo, el de Schoenfelder y Axhausen (2010) muestran que el comportamiento que presentan los individuos a la hora de viajar es muy estable a lo largo del tiempo. Esto implica que la diferencia entre accesibilidad potencial y real no será, habitualmente, muy grande, de manera que las medidas así obtenidas reflejarán, de forma adecuada, los niveles

de atracción de cada destino, todo ello sin imponer apenas restricciones previas, lo cual dota a dichas medidas de una gran dosis de realismo.

- 3) Las condiciones para que el algoritmo converja son similares a las especificadas en Langville y Meyer (2005) para la convergencia del algoritmo *PageRank* de Brin y Page (1998). Así, si definimos $p_{i,t} = \frac{d_{i,t}}{n_i}$ se verifica que $p_{i,t} = \sum_{k=1}^K \frac{n_{ki}}{n_i} p_{k,t-1}$ y, por lo tanto, $p_{i,t}$ evoluciona, como función de t , según una cadena de Markov con matriz de transición $P = \left(\frac{n_{ki}}{n_i} \right)$. Si dicha cadena es irreducible y aperiódica, se verifica que $p_{i,t} \rightarrow p_i$ cuando $t \rightarrow \infty$ donde $\{p_i; i=1, \dots, K\}$ es la distribución estacionaria de dicha cadena. Una condición suficiente para que el algoritmo converja es que la matriz P sea primitiva, es decir, que exista $k \in \mathbb{N}$ tal que P^k tenga todas sus elementos positivos (Langville y Meyer, 2005). Dado que $d_{i,t} = n_i p_{i,t}$ la convergencia de $p_{i,t}$ implica la convergencia de $d_{i,t}$.

Sin embargo, dependiendo de la forma de la matriz de desplazamientos, este algoritmo puede dar lugar a soluciones sin sentido, tal y como demuestra el siguiente resultado.

Proposición 1

Suponer que el algoritmo *Place Rank* converge y que, además, existe una unidad espacial básica B_1 tal que $n_{11} > 0, n_{1i} = 0$ para $i \neq 1$ y $n_{j1} > 0$ para algún $j \neq 1$, es decir, B_1 es tal que no hay desplazamientos desde ella a ninguna otra unidad espacial distinta de ella, pero sí recibe a trabajadores de otras unidades espaciales. Entonces $w_{j,t} \rightarrow 0$ para $j \neq 1$ tal que $n_{j1} > 0$.

Demostración

Se verifica que:

$$w_{1,t} = \frac{d_{1,t}}{n_1} = \frac{\sum_{j=1}^K n_{j1} w_{j,t-1}}{n_{11}} = w_{1,t-1} + \sum_{j=2}^K \frac{n_{j1}}{n_{11}} w_{j,t-1} \quad [1]$$

$$w_{i,t} = \frac{d_{i,t}}{n_i} = \frac{\sum_{j=1}^K n_{ji} w_{j,t-1}}{n_i} = \sum_{j=2}^K \frac{n_{ji}}{n_i} w_{j,t-1} \quad \text{para } i = 2, \dots, K \quad [2]$$

Observar, en particular, que de (2) se sigue que $w_{i,t}$ para $i > 1$ no depende de $w_{i,t}$ y, por tanto, su convergencia no depende de la de $w_{1,t}$. Se tiene que, si $w_{i,t} \rightarrow w_i > 0$ cuando $t \rightarrow \infty$ para algún i tal que $n_{1i} > 0$, entonces $\exists t_0$ tal que $w_{i,t} > 0$ para $t \geq t_0$ y de (1) se sigue que $w_{1,t} > w_{1,t-1}$ para $t \geq t_0$. Con este resultado se demuestra que, o bien $w_{1,t}$ es una sucesión monótona creciente que tiende a infinito, o bien $w_{i,t} \rightarrow 0$ para $i \neq 1$ tales que $n_{i1} > 0$. Dado que se supone que el algoritmo converge, ocurrirá necesariamente este último resultado.

Por lo tanto, la atracción laboral de B_1 tenderá a infinito o, si es finita, será muy superior a la de aquellas unidades laborales de las que recibe trabajadores, independientemente del número de éstos, todo ello debido a que no envía a nadie a trabajar fuera. Esta debilidad del algoritmo proviene de dos hechos:

- 1) Los desplazamientos de la diagonal, $\{n_{ii}; i = 1, \dots, K\}$ recogen para B_i no sólo el atractivo de trabajar en B_i sino también de vivir allí, por lo que deben recibir un tratamiento diferente del resto de desplazamientos n_{ij} con $i \neq j$ que informan, por un lado del atractivo de B_j y de la falta de atractivo de B_i como lugares de trabajo para $i, j = 1, \dots, K$.
- 2) En cada paso del algoritmo, el valor de la ponderación de los desplazamientos no coincide con la *job-ratio*¹ de la matriz de desplazamientos ponderada, debido al tratamiento asimétrico que se da al numerador (los desplazamientos aparecen ponderados) y al denominador (los desplazamientos no se ponderan) que, en nuestra opinión no está plenamente justificada.

Teniendo en cuenta estas dificultades, a continuación presentamos la siguiente modificación del algoritmo.

Algoritmo Place Rank Modificado

Paso 0 (Inicio)

Fijar $tol > 0$ nivel de tolerancia que determina la convergencia del algoritmo.

Tomar $e_{ij,0} = n_{ij}$; $i, j = 1, \dots, K$ calcular $d_{i,0} = n_{i,}$, $o_{i,0} = n_{i,}$ y $w_{i,0} = \frac{d_{i,0}}{o_{i,0}}$ para $i=1, \dots, K$.

Poner $t = 1$ e ir al paso 1.

Paso 1 (Cálculo de la matriz de desplazamientos)

Calcular $e_{ij,t} = n_{ij} w_{i,t-1}$ para $i, j = 1, \dots, K$ tal que $i \neq j$; $e_{ii,t} = n_{ii}$; $i=1, \dots, K$

Paso 2 (Cálculo de las accesibilidades)

Calcular $d_{i,t} = \sum_{k=1}^K e_{ki,t}$, $o_{i,t} = \sum_{k=1}^K e_{ik,t}$ y $w_{i,t} = \frac{d_{i,t}}{o_{i,t}}$ para $i=1, \dots, K$

Paso 3 (Condición de finalización)

Si $\max_{1 \leq i \leq K} \{|d_{i,t-1} - d_{i,t}|\} \leq tol$ poner $a_i^d = d_{i,t}$ y parar.

En otro caso poner $t = t + 1$ e ir al paso 1.

Se han introducido, por tanto, dos modificaciones respecto al algoritmo original de El-Geneidy y Levinson (2011).

Por una parte, se ha tomado $e_{ii,t} = n_{ii}$ asignando el mismo peso a los no desplazamientos y normalizándolos a 1, por las razones de tratamiento asimétrico de este tipo de desplazamientos aducidas anteriormente. Por otra parte, se han actualizado, en cada

¹ La job-ratio mide el número de puestos de trabajo por residente

paso, los valores de o_{it} . De esta forma, y dado que $w_{i,t} = \frac{d_{i,t}}{o_{i,t}}$ es la *job-ratio* asociada a B_i en la matriz de desplazamientos E_t , el algoritmo recoge el impacto negativo que en el cálculo de $w_{i,t}$ ejercen los desplazamientos ponderados $\{e_{ij,t}; j=1, \dots, n \text{ con } j \neq i\}$, reflejo de la pérdida que sobre la valoración del atractivo laboral de B_i , tienen dichos desplazamientos.

En el caso estudiado en la proposición 1 se verificaría que:

$$w_{1,t} = \frac{d_{1,t}}{o_{1,t}} = \frac{n_{11} + \sum_{j=2}^K n_{j1} w_{j,t-1}}{n_{11}} \quad [3]$$

por lo que, si el algoritmo converge, se tendría que $w_{1,t} \rightarrow w_1 = 1 + \sum_{j=2}^K \frac{n_{j1}}{n_{11}} w_j$ donde

$w_j = \lim_{t \rightarrow \infty} w_{j,t}$ para $j = 2, \dots, K$. Por tanto, nuestro algoritmo evita el problema descrito anteriormente verificándose, en particular, que $w_1 \geq 1$ reflejando que la *job-ratio* de la localidad B_1 es mayor o igual que 1 al haber más desplazamientos hacia ella que desde ella.

El siguiente ejemplo muestra, en un caso más concreto, los problemas del algoritmo Place Rank y la solución propuesta con nuestro algoritmo Place Rank modificado.

Ejemplo

Considerar la matriz de desplazamientos:

Origen/Destino	A	B	C	D	E	Total
A	100	0	5	5	0	110
B	0	20	0	0	0	20
C	1	0	100	4	5	110
D	0	1	4	100	5	110
E	0	0	5	5	100	110
Total	101	21	114	114	110	

Se observa que B (la más pequeña de las 5 localidades) no envía a ningún trabajador fuera y tan sólo recibe uno de D. Si aplicamos el algoritmo *Place Rank* original y la modificación propuesta en este trabajo se obtienen las accesibilidades y pesos mostrados en las Tablas 1 a) y b) respectivamente.

Tabla 1.a

Accesibilidades destino estimadas por los algoritmos Place Rank Original y Modificado

<i>Unidad espacial</i>	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>	<i>D</i>	<i>E</i>
Place Rank Original	0	460	0	0	0
Place Rank Modificado	101.031	21.031	113.762	113.762	110.313

Tabla 1.b

Pesos destino estimados por los algoritmos Place Rank Original y Modificado

<i>Unidad espacial</i>	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>	<i>D</i>	<i>E</i>
Place Rank Original	0	23	0	0	0
Place Rank Modificado	0,9248	1,0516	1,0313	1,0313	1,0026

La solución propuesta por el algoritmo Place Rank no es representativa dado que únicamente proporciona accesibilidades y pesos positivos a la unidad B, asignando valores nulos al resto de las unidades como consecuencia del problema puesto de manifiesto en la proposición 1. Esta situación no ocurre si se aplica el algoritmo Place Rank Modificado (ver Tablas 1 a) y b)). Este procedimiento asigna las máximas accesibilidades a las unidades C y D debido a que son las que atraen a más trabajadores de fuera, siendo sus patrones de atracción intercambiables: 5 trabajadores de A y E y un intercambio de 4 entre ambas. Posteriormente, se sitúa la unidad E que atrae a 10 trabajadores de fuera, seguida de A que, al igual que B, atrae a un solo trabajador de fuera pero que, a diferencia de B, tiene un mayor número de trabajadores que viven y trabajan en ella, consiguiendo así un mayor atractivo como lugar para vivir y trabajar. Paradójicamente, el mayor peso se asigna a los trabajadores de B debido a que es la unidad con mayor *job-ratio* de las cinco. Sin embargo, su nivel de accesibilidad es menor debido a que es la unidad espacial en la que menos número de trabajadores viven y trabajan.

2.2 Accesibilidad de origen

El algoritmo *Place Rank* fue concebido para medir el grado de atracción de una localidad como destino laboral y no para medir su atractivo como lugar de residencia. Este hecho se refleja en la forma de ponderar los desplazamientos a una unidad espacial, otorgando más importancia a aquéllos correspondientes a trabajadores procedentes de orígenes o lugares de residencia con un número importante de oportunidades de trabajo, reflejando así el mayor atractivo del municipio de destino que consigue atraer a dichos trabajadores para desarrollar una actividad laboral en él.

En esta sección proponemos una modificación del algoritmo original para abordar el atractivo de un municipio como origen del desplazamiento. El algoritmo que proponemos es similar al utilizado para medir la accesibilidad de destino sin más que intercambiar los papeles de las filas y columnas de la matriz **N**. Para llevarlo a cabo ponderamos los

movimientos de los trabajadores por columnas de la matriz \mathbf{N} , es decir, por el destino o lugar de trabajo hacia el que se dirigen. La idea básica del nuevo algoritmo es que una localidad es atractiva como origen si un trabajador decide vivir en ella pudiendo quedarse a vivir en la localidad donde trabaja.

El algoritmo Place Rank Modificado para origen quedaría como sigue:

Paso 0 (Inicio)

Fijar $tol > 0$ nivel de tolerancia. Tomar $e_{ij,0} = n_{ij}$; $i, j = 1, \dots, K$. Calcular $o_{i,0} = n_i$ y

$w_{i,0} = \frac{n_i}{n_i}$ para $i=1, \dots, K$. Poner $t = 1$ e ir al paso 1.

Paso 1 (Cálculo de la matriz de desplazamientos)

Calcular $e_{ij,t} = n_{ij} w_{j,t-1}$ para $i, j = 1, \dots, K$ con $i \neq j$ y $e_{ii,t} = n_{ii}$ para $i=1, \dots, K$

Paso 2 (Cálculo de las accesibilidades)

Calcular $o_{i,t} = \sum_{j=1}^K e_{ij,t}$, $d_{i,t} = \sum_{j=1}^K e_{ji,t}$ y $w_{i,0} = \frac{o_{i,t}}{d_{i,t}}$ para $i=1, \dots, K$

Paso 3 (Condición de finalización)

Si $\max_{1 \leq i \leq K} \{ |o_{i,t-1} - o_{i,t}| \} \leq tol$ poner $a_i^o = o_{i,t}$ y parar. En otro caso poner $t = t + 1$ e ir al paso 1.

Como consecuencia del algoritmo se obtienen las accesibilidades de origen $\{a_i^o; i = 1, \dots, K\}$ de las unidades espaciales básicas $\{B_i; i=1, \dots, K\}$ que reflejan su potencial atractivo como lugar de residencia.

Observación

Notar que los pesos asignados a cada columna de la matriz \mathbf{N} se corresponden con el inverso de la *job-ratio* de la unidad espacial a la que representan. Un valor alto de esta ratio en una localidad indica que existen muchos trabajadores por puesto de trabajo, debido al elevado número de personas que la eligen como lugar de residencia a pesar de las potenciales dificultades de encontrar trabajo en ella.

Ejemplo (continuación)

En la Tabla 2 se muestran las accesibilidades de origen así como los pesos asignados a las unidades espaciales cuando la matriz de desplazamientos \mathbf{N} es la analizada en el ejemplo anterior.

Tabla 2

**Accesibilidades de origen pesos determinados por el algoritmo
Place Rank Modificado**

<i>Unidad espacial</i>	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>	<i>D</i>	<i>E</i>
Pesos	1,085	0,9545	0,9682	0,9672	0,9973
Accesibilidades	109.677	20	109.94	109.814	109.677

Se observa que la mayor accesibilidad corresponde a la unidad C debido a que, aun a pesar de tener el mismo número de residentes que las unidades A, D y E, uno de ellos trabaja en A, unidad básica con la mayor ponderación por poseer más trabajadores por puesto de trabajo. Le sigue D porque, junto con C, es la unidad que envía más trabajadores a E que, después de los A, son los que más peso reciben. A continuación se sitúan empatados A y E debido a que tienen el mismo número de residentes y envían el mismo número de personas a trabajar y a los mismos sitios. Finalmente, B es la unidad menos atractiva para vivir debido al menor número de personas que viven y trabajan en ella.

3. Aplicación empírica: accesibilidad laboral en Aragón

Una vez descritas las medidas de accesibilidad laboral que se van a utilizar, así como los algoritmos propuestos para su cálculo, en esta sección aplicamos la metodología al caso aragonés.

Para ello se han utilizado los datos del Censo de población de 2001 a nivel de microdato y, más concretamente, las referencias para cada ocupado de su municipio de origen (lugar de residencia) y destino (lugar de trabajo).

De dichos datos fueron eliminados los desplazamientos realizados hacia municipios fuera de la comunidad aragonesa. Así mismo, se realizó una depuración de la información mediante la comparación, para cada trabajador, del tiempo de desplazamiento declarado por él mismo con el estimado mediante el procedimiento descrito posteriormente. Si el tiempo declarado por el trabajador era inferior al 10% del tiempo de viaje, se consideró que era sospechosamente bajo y se asignó al trabajador como residente en el municipio de destino. La misma decisión se tomó si el tiempo de viaje de una localidad a otra era superior a 3 horas y no se declaraba tiempo alguno, entendiendo que era anormalmente grande. En ambos casos se consideró que muchos de los encuestados confundieron el municipio de residencia con aquel en el que estaban empadronados, que no tienen por qué coincidir. Tras esta depuración, el número de registros se redujo a 454.668 ocupados pertenecientes a 729 municipios aragoneses.

Junto con la información proporcionada por el Censo se ha dispuesto del tiempo de viaje, medido en minutos, entre dos municipios cualesquiera de Aragón² para analizar su relación con las medidas de accesibilidad calculadas. Este tiempo fue estimado

² Información cedida por los profesores José Luis Calvo y Ángel Pueyo del Departamento de Geografía y José Miguel Jover del Centro de Cálculo de la Universidad de Zaragoza.

teniendo en cuenta los tipos de vías entre cada par de localidades, eligiendo la ruta más rápida y aplicando las siguientes velocidades en función del tipo de carretera:

"Ruta primaria" = 80 Km/h

"Autopista" = 120 Km/h

"Ruta regional" = 70 Km/h

"Carretera local" = 60 Km/h

Así mismo, y con el fin de llevar a cabo una caracterización territorial de los municipios aragoneses en función de su accesibilidad, se han considerado también como variables relacionadas con la accesibilidad algunas características de los municipios referidas a su situación de vitalidad demográfica tales como el porcentaje de jóvenes menores de 16 años, el de ancianos mayores de 65 años sobre el total de la población y el porcentaje de mujeres. Además, se incluyeron otras de carácter económico como la composición sectorial de su población activa (porcentaje de trabajadores en los sectores agrícola, industrial, construcción y servicios). Las variables seleccionadas buscan rasgos demográficos o del mercado laboral que, a priori, pueden ser determinantes de las decisiones de desplazamiento de los mismos. Así, un porcentaje alto de menores de 16 años y/o un porcentaje alto de mujeres suelen ir ligados a poblaciones que, presumiblemente, tienen un alto atractivo como lugar de residencia. Por su parte, un alto porcentaje de mayores de 65 años puede ir ligado a poblaciones envejecidas con baja actividad económica y, por tanto, poco atractivas como origen y destino. Así mismo, la información referida a la estructura sectorial permite mostrar que los municipios con un alto porcentaje de empleados en el sector servicios, industria o construcción muestran un mayor dinamismo económico y/o de calidad de vida y, por tanto, un alto grado de accesibilidad como lugar de residencia y/o trabajo. Lo contrario ocurre con localidades con un alto porcentaje de trabajadores en el sector agrícola ligado a un menor dinamismo económico. Finalmente, es de esperar que localidades con un tiempo medio de acceso elevado, tengan bajos niveles de accesibilidad de origen y destino al ser un indicador de la impedancia o dificultad de acceso a las mismas.

Otras características podrían, desde luego, ser incluidas en el estudio y tratadas de forma similar a la realizada en este trabajo. Cada territorio presenta rasgos particulares y, por ello, la relación de variables seleccionadas en el modelo utilizado vendría determinada por la idiosincrasia de cada territorio.

A continuación, presentamos las medidas de accesibilidad laboral obtenidas al aplicar los algoritmos descritos en los apartados 2.1 y 2.2 a las matrices de desplazamientos individuales de los 729 municipios de Aragón.

3.1 Accesibilidad de origen

En la Figura 1 se representan gráficamente sobre un mapa los resultados obtenidos para la accesibilidad de cada municipio, encuadrado en su comarca, como lugar de residencia. Por su parte, en la Figura 2 se muestran los diagramas de caja del algoritmo de las accesibilidades de origen agrupados por comarcas. Se ha tomado esta

delimitación administrativa como referencia espacial, puesto que permite agrupar los resultados obtenidos y comprobar una correspondencia importante entre los resultados de esta medida de accesibilidad y la presencia de focos comarcales.

Figura 1

Accesibilidad laboral de origen de los municipios de Aragón

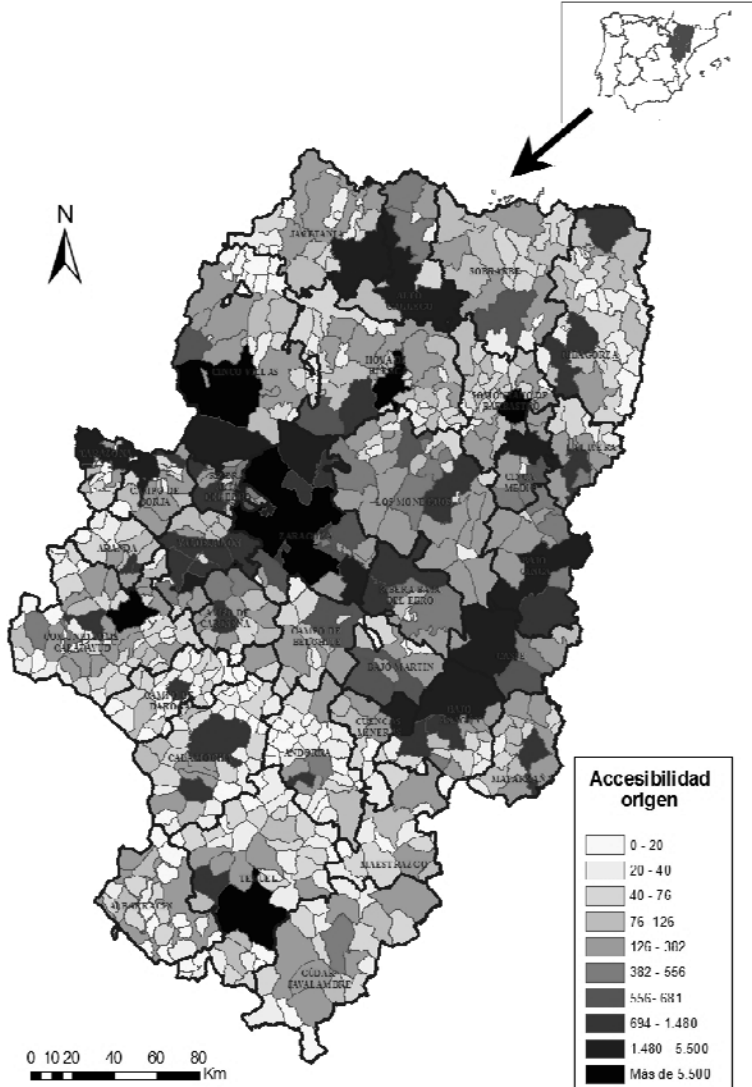
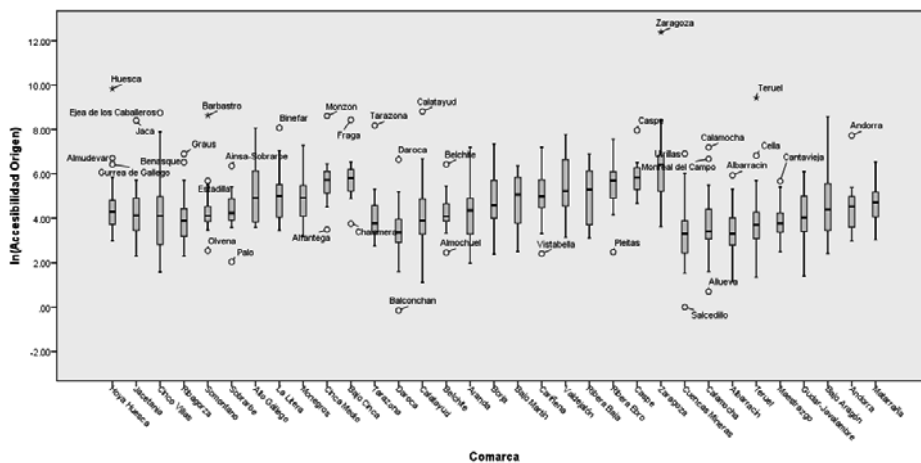


Figura 2

Accesibilidad laboral de origen de los municipios de Aragón agrupados por comarcas

Se observa que los mayores valores de accesibilidad se asocian, en general, a las cabeceras comarcuales, donde la presencia de un número mayor de actividades y servicios justifican estos resultados. Existen, además, otros municipios con un cierto potencial económico que presentan también un atractivo relevante como lugar de residencia dentro de sus comarcas (Gurrea de Gállego y Almudévar en la comarca Hoya de Huesca; Cella en la comarca Comunidad de Teruel o Monreal del Campo en la comarca de Calamocha, ver Figura 2).

Por zonas, los mayores atractivos como lugar de residencia tienden a darse a lo largo del eje del río Ebro (comarcas de Ribera Alta del Ebro, Ribera Baja, Zaragoza, Caspe o Valdejalón) y en el eje Huesca-Zaragoza-Calatayud (ver Figuras 1 y 2), así como, en la zona del Pirineo central (en torno a Jaca y Sabiñánigo) y en algunos municipios fronterizos con Navarra (Tarazona, Ejea de los Caballeros, Tauste), Cataluña (comarcas del Cinca Medio, Bajo Cinca y La Litera) y la Comunidad Valenciana (comarcas del Bajo Aragón y Matarranya). Finalmente, en la parte más occidental de la provincia de Teruel se observa una mayor concentración en torno a unos pocos municipios importantes (Calamocha, Monreal del Campo, Albarracín, Cella, Teruel) siendo, la mayor parte de ellos, cabeceras de sus propias comarcas que se caracterizan por unos bajos niveles de movilidad laboral, fruto del importante vaciamiento y envejecimiento de estos territorios.

3.1.1 Relación con algunas características socio-económicas

En la Tabla 3 se muestran los resultados obtenidos al regresar el logaritmo de la accesibilidad de origen de los municipios sobre el tiempo medio de acceso a otras localidades (en minutos) así como algunas de las características socio-económicas de los municipios descritas anteriormente (porcentaje de población de menos de 16 años,

porcentaje de mujeres, porcentaje de población de más de 65 y el porcentaje de trabajadores en los sectores agrícola, industrial, construcción y servicios).

Tabla 3

Regresión del logaritmo de la accesibilidad de origen sobre el tiempo medio de desplazamiento

	<i>Coefficiente</i>									
Constante	5,144	2,589	7,655	3,118	5,392	3,784	4,120	3,401	5,632	
Tiempo medio de acceso	-0,029 ⁺⁺									
% de menores de 16 años		0,204 ⁺⁺								0,089 ⁺⁺
% de mayores de 65 años			-0,091 ⁺⁺							-0,055 ⁺⁺
% Mujeres				0,041 ⁺⁺						0,011 ⁺⁺
% Agricultura					-0,033 ⁺⁺					-0,012 ⁺⁺
% Industria						0,030 ⁺⁺				
% Construcción							0,023 ⁺⁺			
% Servicios								0,025 ⁺⁺		
R ²	0,055	0,385	0,453	0,075	0,187	0,073	0,011	0,067	0,530	

⁺⁺ Significativo al 1%

La metodología seguida ha consistido en realizar una regresión lineal simple sobre cada variable, con el fin de analizar su efecto global, así como una regresión lineal múltiple sobre todas las variables pero utilizando un algoritmo de eliminación hacia atrás de las no significativas. El programa utilizado para estimar todos estos modelos ha sido IBM® SPSS® 19.0.

Analizando los signos de los coeficientes de regresión del modelo y su significación estadística, se observa que una alta accesibilidad de origen en un municipio (es decir, como lugar de residencia) está ligada a tener bajos valores de tiempo medio de acceso, porcentaje de mayores de 65 años y de población agrícola, así como un alto porcentaje de menores de 16 años, de mujeres y de población activa trabajando en los sectores industrial, de construcción y servicios. Estos resultados son lógicos (ver Figura 1), puesto que, por un lado, si el municipio tiene un tiempo medio de acceso elevado, significa que la calidad de sus comunicaciones es baja y/o su posición territorial es aislada, disminuyendo su atractivo como lugar de residencia. Además, la existencia de un elevado número de pequeños municipios con población muy envejecida y trabajando en el sector agrícola (sobre todo en la provincia de Teruel) justifica la relación inversa con el porcentaje de mayores de 65 años y de población agrícola, siendo estos dos efectos los más significativos de todos los detectados (ver Tabla 3). Por el contrario, los municipios con altos porcentajes de población en los sectores industrial, construcción y servicios tienden a estar situados en las zonas de mayor accesibilidad, tal y como se aprecia en la Figura 1, correspondiendo con los alrededores de Zaragoza, y con las principales capitales provinciales y comarcales.

3.2 Accesibilidad de destino

En las Figuras 3 y 4 se muestran, de forma numérica y gráfica, los resultados obtenidos respecto a la accesibilidad como lugar de trabajo. En el mapa de la Figura 3 se representa, además, la delimitación por comarcas destacando su cabecera. Por su parte, en la Figura 4 se muestran los diagramas de caja del logaritmo de las accesibilidades agrupados por comarcas.

Figura 3

Accesibilidad laboral de destino de los municipios de Aragón

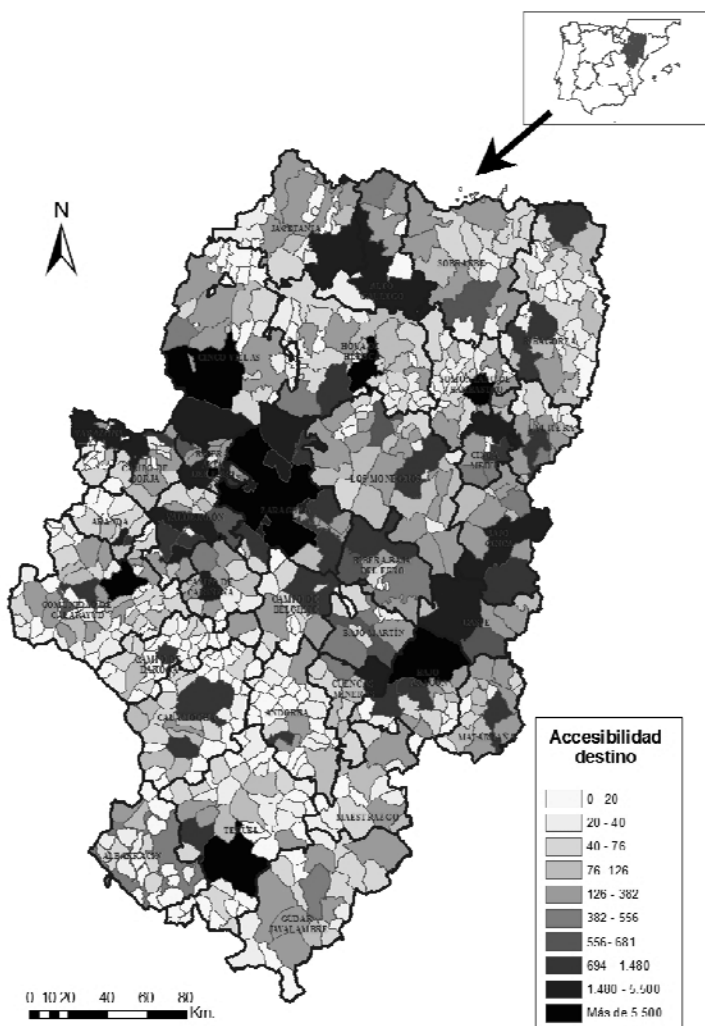
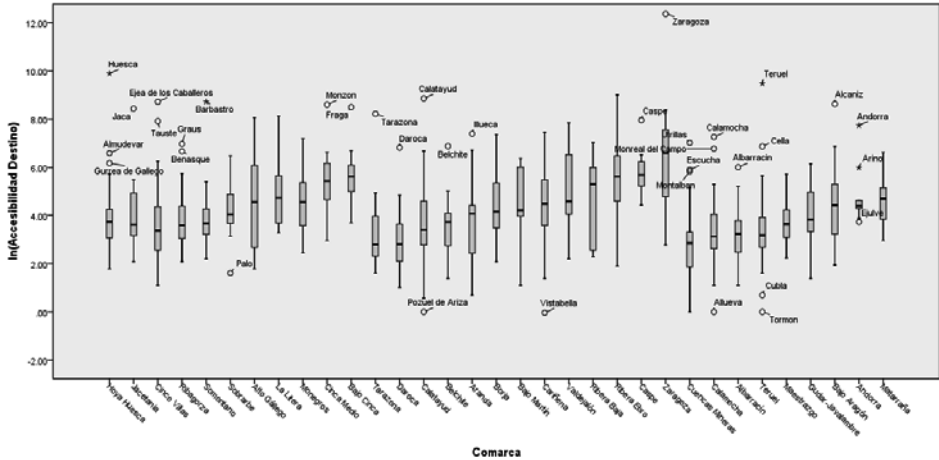


Figura 4

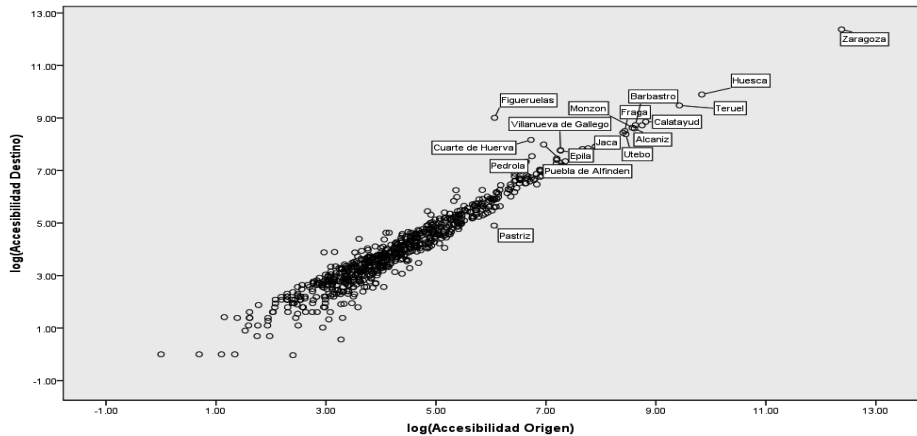
Accesibilidad laboral de destino de los municipios de Aragón agrupados por comarcas



Se observan resultados muy similares a los ya obtenidos para las accesibilidades de origen, lo cual no es sorprendente puesto que, tal y como muestra el diagrama de dispersión de la Figura 5, están muy relacionados entre sí. El coeficiente de correlación lineal de Pearson es 0,99 y el de rangos de Spearman 0,96, indicando un alto grado de concordancia entre ambos tipos de accesibilidad.

Figura 5

Diagrama de dispersión del log (Accesibilidad de origen) y el log (Accesibilidad de destino)



Los valores más altos de accesibilidades corresponden, en general, a las cabeceras comarcales (ver Figura 4). Existen, además, algunos municipios con un alto atractivo

como lugar de trabajo dentro de sus comarcas, motivado por la localización en ellos de alguna empresa relevante (Gurrea de Gállego y Almudévar en la Comarca Hoya de Huesca; Cella en la Comarca Comunidad de Teruel o Monreal del Campo y Escucha en la Comarca Jiloca). Los mayores atractivos como lugar de trabajo tienden a darse en áreas con mayor accesibilidad de origen a excepción de los municipios situados en torno a Opel España (Figueroles, Pedrola) o al corredor industrial de los ríos Huerva (Cuarte de Huerva, Cadrete) o Gállego (Puebla de Alfindén), fruto de la localización en ellos de empresas que atraen diariamente a un número importante de trabajadores, cuya demanda no se cubre con los ocupados residentes (ver Figuras 3 y 4).

3.2.1 Su relación con algunas características socio-económicas

En la Tabla 4 se muestran los resultados obtenidos al regresar el logaritmo de la accesibilidad de destino de los municipios sobre el tiempo medio de acceso a otras localidades (en minutos) y sobre algunas de sus características socio-demográficas como son el porcentaje de mayores de 65 años y el de trabajadores en los sectores agrícola, industrial, construcción y servicios.

Tabla 4

Regresión del logaritmo de la accesibilidad de destino sobre el tiempo medio de desplazamiento y diversas características socio-demográficas

	<i>Coficiente</i>							
Constante	4,866	7,727	5,654	3,398	4,043	2,833	5,525	
Tiempo medio de acceso	-0,030 ⁺⁺							
% de mayores de 65 años		-0,102 ⁺⁺						-0,073 ⁺⁺
% Agricultura			-0,035 ⁺⁺					
% Industria				0,045 ⁺⁺				0,028 ⁺⁺
% Construcción					0,001			
% Servicios						0,042 ⁺⁺		0,026 ⁺⁺
R ²	0,047	0,430	0,331	0,192	0,000	0,215		0,553

⁺⁺ Significativo al 1%

Se observa que una alta accesibilidad de destino (es decir, como lugar de trabajo) está ligada a tener un tiempo medio de acceso y un porcentaje de población agrícola bajos, así como, sobre todo, a un alto porcentaje de población activa trabajando en los sectores industrial y de servicios y un bajo porcentaje de mayores de 65 años. Son, por lo tanto, los municipios bien comunicados, menos envejecidos (que en Aragón son los que tienen un mayor dinamismo económico) y con un sector industrial y de servicios de importancia los que cuentan con un mayor atractivo para trabajar.

En síntesis, y a modo de conclusión, podemos decir que en Aragón, a pesar de que su capital ofrece unos resultados de fuerte concentración de flujos, explicados por su gran macrocefalia demográfica y de actividades económicas, quedan atisbos de esperanza en la ordenación de este territorio, ya que existen algunos municipios cuyo grado de accesibilidad-atracción es importante. Se corresponden en su mayoría con las cabeceras

comarcales, indicando que allí donde la población encuentra empleo en el sector secundario y sobre todo en el terciario, junto con un tiempo breve de recorrido para acceder a ellos, existe una mayor atracción laboral que puede impulsar y dinamizar al resto de su comarca.

4. Conclusiones y futuras líneas de investigación

En este trabajo se ha realizado un estudio de la accesibilidad de los municipios aragoneses tanto como lugar de residencia como lugar de trabajo. Para ello se ha utilizado una modificación del algoritmo *Place Rank* que corrige los malos comportamientos del algoritmo original propuesto por El-Geneidy y Levinson (2011), cuando existen, entre las localidades analizadas, algunas con altos niveles de aislamiento. Así mismo, se ha propuesto un algoritmo para estimar el atractivo de un municipio como lugar de residencia algo que, a nuestro nivel de conocimiento, no se había realizado en la literatura. Finalmente, y haciendo uso de las estimaciones obtenidas, se ha analizado la influencia ejercida por el tiempo medio de desplazamiento así como de algunas características sociodemográficas sobre el grado de accesibilidad de un municipio tanto como lugar de residencia como lugar de trabajo.

La aplicación de las metodologías aquí propuestas a los datos de movilidad laboral diaria de los trabajadores aragoneses obtenidos del Censo de 2001 ha permitido estimar la accesibilidad de los municipios aragoneses que ha mostrado, en primer lugar, la existencia de una gran concordancia en sus niveles tanto como lugar de residencia como de lugar de trabajo, poniendo de manifiesto que, en Aragón, los municipios con un alto atractivo para residir tienden a coincidir con aquéllos que tienen un elevado atractivo para trabajar.

Los resultados obtenidos han corroborado la escasa movilidad laboral existente en el territorio aragonés en el año 2001, así como una organización jerárquica de los tipos de funciones a desempeñar por los núcleos de acuerdo a su tamaño. Las zonas de mayor accesibilidad se sitúan a lo largo del eje del Ebro y en el eje Huesca-Zaragoza-Calatayud, así como en la zona del Pirineo (en torno a Jaca y Sabiñánigo) y las zonas fronterizas con Navarra, Cataluña y la Comunidad Valenciana. Por último, en la parte más occidental de la provincia de Teruel se observa una mayor concentración en torno a unos pocos municipios importantes (Calamocha, Monreal del Campo, Albarracín, Cella, Teruel) siendo, la mayor parte de ellos, cabeceras comarcales caracterizadas por unos bajos niveles de movilidad laboral.

Finalmente, se observa que un grado de atracción alto de un municipio como lugar de residencia tiende a estar ligado con un tiempo medio de acceso, un porcentaje de mayores de 65 años y de población agrícola bajos, así como con un alto porcentaje de menores de 16 años, mujeres y población ocupada trabajando en los sectores industrial, de construcción y servicios. Además, se comprueba que los municipios con buenas comunicaciones y con importantes sectores industrial y de servicios son los que exhiben un mayor atractivo para ir a trabajar.

En la actualidad estamos trabajando en establecer las condiciones matemáticas que determinen la convergencia de los algoritmos propuestos. En todos los ejemplos que hemos analizado no hemos tenido problemas de convergencia y, por dicha razón, sospechamos que dichas condiciones no serán muy diferentes de las ya establecidas para el algoritmo *Place Rank*.

Por otro lado, aunque el proceso de estimación de las accesibilidades es muy flexible y exige pocas hipótesis previas, no tiene en cuenta la influencia ejercida por las características socio-económicas y demográficas ni la posición geográfica de dichos municipios. Así mismo, la estimación del grado de accesibilidad de un municipio como lugar de residencia y de trabajo se lleva a cabo por separado sin tener en cuenta que ambas influyen simultáneamente en las decisiones de desplazamiento de los trabajadores. Pensamos que estos aspectos podrían ser capturados por modelos de interacción espacial que se han utilizado con bastante éxito en otros contextos (Lesage y otros, 2007).

REFERENCIAS

- ALONSO, W. (1964): «Location and Land Use; Toward a General Theory of Land Rent». *Harvard University Press*.
- BRIN, S. Y PAGE, L (1998): «The anatomy of a large-scale hypertextual web search engine». *Comput. Networks* 30, 107–117
- CALVO, J.L.; JOVER, J.M. Y PUEYO, A. (1992): «Modelos de accesibilidad y su representación cartográfica: las redes española y valenciana». *Actas del V Coloquio de Geografía Cuantitativa*, 59-74. Zaragoza.
- EL-GENEIDY, A. Y LEVINSON, D. (2011): «Place Rank: Valuing Spatial Interactions», *Networks and Spatial Economics*, 1-17.
- HANSEN, W. (1959): «How accessibility shape land use». *J. Am. Inst. Plann.* 25(2), 73–76.
- JIANG, B (2009) «Ranking spaces for predicting human movement in an urban environment». *Int J Geogr Inf Sci* 23, 823–837
- LANGVILLE, A. Y MEYER, C. (2005): «Deeper inside pagerank». *Internet Mathematics*, 1 (3), 335-380.
- LESAGE, J. P., FISCHER, M. M. Y SCHERNGELL, T. (2007): «Knowledge spillovers across Europe: Evidence from a Poisson spatial interaction model with spatial effects». *Papers in Regional Science*, 86(3) 393 – 421.
- PAZOS, M. Y ALONSO, M.P. 2009: «La movilidad laboral diaria: contrastes territoriales en el Eje Urbano Atlántico gallego». *Eria*, 78-79: 97-112.
- SCHOENFELDER, S. Y AXHAUSEN, K. (2010): «Urban rhythms and travel behaviour: spatial and temporal phenomena of daily travel». *Ashgate Publishing Company*.

- VICKERMAN, R.W. (1974): «Accessibility, attraction and potential: a review of some concepts and their use in determining mobility». *Environment and Planning Series A* 6, 675–691.
- WACHS, M. Y KUMAGAI, T. (1973): «Physical accessibility as a social indicator». *Socioecon Plan Sc*, 7:327–456.
- WILSON, A. (1971): «A family of spatial interaction models, and associated developments». *Environment and Planning A* 3(1), 1–32.