

# HACIA UN MÉTODO INTEGRADO DE IDENTIFICACIÓN DE SUBCENTROS A ESCALA MUNICIPAL: UN ANÁLISIS PARA LA REGIÓN METROPOLITANA DE BARCELONA

**AGUIRRE NÚÑEZ, Carlos**<sup>1</sup>  
**MARMOLEJO DUARTE, Carlos**

Remisión artículo: 12/07/2009

Remisión definitiva: 18-9-2010

**Palabras Clave:** Subcentros, estructura urbana, densidad de trabajadores.

## Resumen

En este trabajo, se busca explorar las diferentes formas de identificar y validar los subcentros metropolitanos de empleo. Se plantea un método integrado de identificación, el cual incluye una segunda etapa de validación mediante tres aspectos: la explicación de la densidad de trabajadores, los indicadores de movilidad de los trabajadores y la explicación de los valores inmobiliarios.

Usando información de la Región Metropolitana de Barcelona, se prueban 10 métodos de identificación de subcentros, existentes en el estado del arte, considerando además dos versiones de densidad de trabajadores, presentando una nueva forma de obtener la densidad de trabajadores, que es la norma del vector construido con la densidad de trabajadores entrantes y trabajadores residentes.

El método integrado, identifica y valida un conjunto de 15 municipios que actúan como subcentros metropolitanos, explicando la densidad, la movilidad y la formación espacial de los valores inmobiliarios.

## 1. Introducción

Bajo el modelo monocéntrico, caracterizado por un claro dominio del CBD (distrito de negocios central) en términos de concentración del empleo y actividad, florecieron las principales teorías de la economía urbana. Entre ellas, destaca la de la renta ofertada (*bid rent*), que establece una relación de inversa proporcionalidad (*trade-off*) entre la renta que los localizadores están dispuestos a transferir al suelo, y el coste del transporte (incluido el valor del tiempo). De manera que las localizaciones más accesibles, es decir las más cercanas al CBD, son precisamente aquellas cuyos suelos reciben más renta (i.e.: en dónde se crea el pico más alto del valor del suelo). Sin embargo, el paradigma actual de los sistemas urbanos metropolitanos se encuentra abismalmente alejado del modelo monocéntrico, entre tanto: a) el CBD no suele

---

**Carlos Aguirre Núñez:** Centro de Política de Suelo y Valoraciones, Universidad Politécnica de Cataluña; Avenida Diagonal, 649, 4 planta, 08028, España. Email de contacto: carlos.aguirre@upc.edu  
Este artículo se deriva de la Tesis de Máster Universitario en Gestión y Valoración Urbana de Carlos Aguirre, dirigida por Carlos Marmolejo Duarte

concentrar la mayor cantidad del empleo metropolitano, y b) el resto del empleo o bien se encuentra disperso o bien aglomerado en subcentros.

La progresiva aparición y consolidación de sistemas complejos, en parte dispersos y en parte policéntricos, ha sido pues, la línea de desarrollo urbano de las últimas décadas del siglo XX. Por esta razón McMillen y Schmith (2003), afirman que las ciudades ya no son monocéntricas, por lo cual los modelos basados en Alonso (1964) y Muth (1969) deberían ser revisados y revisados desde sus supuestos básicos. Así las realidades monocéntricas han dado paso a ciudades con diferentes subcentros en diferentes grados de policéntrismo.

Este artículo busca aplicar varios modelos para la identificación de subcentros a la Región Metropolitana de Barcelona. Este artículo parte presentando y definiendo lo que es un subcentro, presenta las diferentes metodologías de identificación, su aplicación a la Región Metropolitana de Barcelona y una discusión sobre los subcentros identificados.

## 2. Los subcentros urbanos y su función en el territorio

Un subcentro es un punto en el espacio metropolitano caracterizado no solo por tener un densidad de trabajadores sensiblemente superior a la de sus vecinos, sino y sobre todo, por ser capaz de ejercer una influencia sobre su territorio adyacente. Dicha influencia puede verse reflejada mediante el flujo de trabajadores o compradores que acuden a él desde sus residencias, o por una modificación del manto de valores y de intensidad de uso del territorio alrededor de él.

Bertaud (2002), expone que estas nuevas emergencias compiten con el CBD en los patrones de atracción de viajes laborales, con lo cual identifica cuatro estadios de las ciudades:

- 1.- Una ciudad con preponderancia del CBD y sin subcentros identificables, la mayoría de los viajes se concentran en desde la periferia hacia el CBD. Esta categoría sería la ciudad monocéntrica.
- 2.- Una ciudad donde el CBD y los subcentros ejercen lazos de fuertes de atracción de trabajadores y existe atracción de los subcentros entre sí, pero en menor grado (urban Village, ideal de planeación).
- 3.- Una ciudad basada en un sistema policéntrico equipotencial, donde no existe una preponderancia del CBD respecto a los subcentros, ni entre estos últimos. Esta categoría sería la ciudad policéntrica.
4. Una ciudad a medio camino entre las monocéntricas y las policéntricas. Este modelo corresponde a jerarquías no bien definidas, ya que el CBD mantiene su jerarquía atrayendo los viajes, pero los subcentros también compiten con él, aunque no de forma equipotencial.

Un *subcentro metropolitano*, se puede definir preliminarmente (McMillen 2002, Roca *et al*, 2009) como una emergencia de densidad de trabajadores, que a su vez ejerce una influencia

en el entorno metropolitano, y lo vertebra en términos de densidad de empleo, como de movilidad y a su vez mantiene los preceptos del “trade off” propios de la teoría de la renta ofertada.

### 3. Métodos para identificar subcentros

En la literatura existen dos familias de métodos diseñadas para detectar subcentros laborales (véanse los excelentes estados del arte realizados por Muñiz, 2003 y 2005; y Roca, *et al.* 2009). La primera basada en el análisis de la distribución de la densidad (p.e.: puestos de trabajo/superficie urbanizada) y la segunda es funcional y está basada el análisis de la movilidad (p.e.: residencia-trabajo). Ambas tienen caminos convergentes, ya que dan cuenta del mismo fenómeno, pero con matizaciones particulares.

McMillen (2003), plantea una clasificación de métodos de identificación de subcentros en dos grupos, uno de conocimiento empírico del lugar previo a la identificación y un segundo asociado a métodos con mayor rigor estadístico dado que se definen desde los residuos de una regresión que representa un modelo perfectamente monocéntrico.

En esa lógica, Roca, *et al.* (2009) y Muñiz, (2003) y (2005) establecen una clasificación de métodos basados en los criterios de identificación. Muñiz (2003) comprueba que Barcelona es una ciudad policéntrica mediante el análisis de los residuos de una regresión paramétrica y criterios de umbrales densidad y cantidad de trabajadores. Por su parte, Roca *et al.* (2009), agregan a estos últimos modelos de movilidad residencia-trabajo.

La tabla 1, presenta una propuesta de organización en base a los métodos de identificación de subcentros, dejando de lado los métodos catalogados (McMillen, 2003) como de bajo rigor estadístico. En la familia de los que usan como criterio la densidad<sup>2</sup>, se identificaron cinco métodos que van desde la simple observación de los puntos con mayor densidad, al establecimiento de umbrales de densidad al los basados en las regresiones paramétricas y no paramétricas (p.e. econometría espacial). McMillen (2001) hace mención a las ventajas de los umbrales definidos por Giuliano y Small (1991), dado que al combinarlo con un conocimiento de la realidad a analizar, es fácil y eficaz.

Tanto Roca *et al.* (2009) como Muñiz (2003), presentan las ventajas de los modelos de regresión paramétrica y espacial en la detección de subcentros para Barcelona. Muñiz (2003b) incorpora además la estimación de curvas spline para establecer el efecto de los subcentros sobre la población residente en los municipios aledaños a los subcentros identificados.

En la segunda familia, los métodos basados en la movilidad de trabajadores, se observa un desarrollo más escaso, centrándose principalmente en los flujos de movilidad obligada (*commuting*) para su análisis. Los subcentros de la región metropolitana de Barcelona, Roca *et al.* (2009), identificados como de protosistemas urbanos, en base a la máxima interacción entre ellos, rescatando a Gordon y Richardson (1986) y basados en el valor de interacción de

---

<sup>2</sup> De trabajadores o de población.

Coombes y Openshaw (1982), resulta altamente ejemplificado de la potencia de esta familia de métodos.

En una mirada crítica a la revisión del estado del arte, se plantea:

1. En primera instancia a pesar de que la densidad de empleo y los flujos de trabajadores son dos caras de un mismo proceso, ambas informaciones aportan aspectos cualitativos diferentes, el primero da cuenta, por ejemplo, de la intensidad con la que se usa el espacio de destino; mientras que el segundo la fuerza con la que se unen destinos y orígenes. Ambas familias han analizado estancamente estos aspectos y muy pocos esfuerzos se han hecho para generar criterios combinados movilidad-densidad.
2. La especialización de los métodos resulta también objeto de controversia. Si bien es una ventaja práctica que se especialice la técnica, en particular los modelos econométricos, resulta muy difícil su aplicación a varias realidades diferentes. De hecho, McMillen (2003), reconoce de forma certera que el método de Giuliano y Small, es el más fácil de usar cuando se quiere comparar ciudades.
3. La necesidad de cubrir los conceptos de vertebración del territorio, no solo con el impacto sobre la movilidad y la densidad de trabajadores, sino además, en la formación espacial de los valores inmobiliarios.
4. El tratamiento agregado de la densidad, no permite distinguir la densidad que se genera por los trabajadores (*commuters*) que llegan desde otras localizaciones, de aquella densidad endógena que se genera por la población ocupada que se queda a trabajar en el mismo sitio (*resident workers*); por esta razón no se puede, mediante este tratamiento agregado distinguir las localizaciones que son densas porque atraen un flujo importante de trabajadores pero a la vez retienen una cuantía importante (subcentros maduros que estructuran el territorio), de aquellas que son densas sin atraer prácticamente flujos (p.e.: un cuartel militar, es decir, accidentes de densidad sin relaciones estructurantes con su alrededor) ni de aquellos que son densos sin tener o retener a su población ocupada residente .

Tabla 1. Organización de los métodos de identificación de subcentros

Metodología	Referencia	Variable	Criterio	
<b>Densidad de trabajadores o población</b>	<b>Picos de densidad de empleo en zonas contiguas</b>	McDonald (1987)	Densidad e Empleo y Población	Dos indicadores: Densidad bruta de ocupación y ratio empleos-población
		McDonald y McMillen (1990)	Densidad e Empleo y Población	Identificación de picos de densidad mediante SIG
	<b>Umbrales</b>	Giuliano y Small(1991)	Densidad de empleos	D empleo >25 empleos/ha
				Empleos >10.000
		Song (1992)	Densidad de empleos	D empleo>37 empleos/ha
				Empleos >35.000
		Cervero y Wu (1997)	Densidad de empleos	D empleo>17 empleos/ha
				Empleos >10.000
		McMillen y McDonald (1998)	Densidad de empleos	D empleo>25 empleos/ha
				Empleos >10.000
		Bogart y Ferry (1999)	Densidad de empleos	D empleo>20 empleos/ha
				Empleos >10.000
	McMillen y Lester (2003)	Densidad de empleos	De=37 empleos/ha LTL=10000	
	García López (2007)	Densidad de empleos	LTL superior al 1% del sistema	
			Densidad mayor a la media del sistema	
	<b>Métodos paramétricos</b>	McDonald y Prather (1994) Roca (2009)	Densidad de Empleo y Población	Función exponencial negativa y residuos positivos significativamente>0
<b>Métodos no paramétricos</b>	McMillen y McDonald (1998)	Densidad de empleos	Estimación no paramétrica (LWR) distribución densidad bruta de empleo	
	McMillen (2001)	Densidad de empleos	Estimación no paramétrica (LWR) distribución densidad bruta de empleo en dos etapas	
<b>Econometría espacial</b>	Baumont y Le Gallo (2004)	Densidad de empleo	Índices de Moran anormales en Análisis LISA	
	Guillam (2004)	Densidad e Empleo y Población	Índices de Moran Local y Total	
<b>Condiciones de movilidad laboral</b>	<b>Flujos de movilidad</b>	Gordon y Richardson (1986)	Flujos de "commuting"	Significancia de la movilidad de los subcentros Áreas con una densidad de generación de viajes> 0.8 desviación estándar
		Burns <i>et al</i> (2001)	Saldo viajes residencia-trabajo	Saldo neto positivo
		Roca (2009) y (2004)	Flujos de "commuting"	Agregación Índices de interacción laboral para definir protosistemas

Fuente: Elaboración propia con en base a Roca *et al* (2009) y Muñiz (2003).

Una manera de validar los subcentros es mirar en qué medida los “subcentros potenciales” determinados mediante diferentes métodos explican la formación espacial de los valores inmobiliarios. Desde la perspectiva de la teoría de la renta ofertada, se esperaría que la renta del suelo disminuyese a medida que una zona se aleja tanto del CBD como de los subcentros, como ocurre con las gradientes de densidad de trabajadores<sup>3</sup>.

La mayor parte de trabajos donde se analiza el impacto de los subcentros sobre el gradiente de densidad han utilizado la densidad del empleo, no la de población, como variable dependiente. Rompiendo con esta pauta, Dowall y Treffeisen (1991) y McMillen y Lester (2003) encuentran evidencia empírica favorable a la existencia de una relación negativa entre densidad residencial y distancia al subcentros.

#### 4. Estudio de caso, datos y modelos

El caso de estudio es la Región Metropolitana de Barcelona, que cuenta con 164 municipios, 3.200 kilómetros cuadrados, 551 kilómetros cuadrados artificializados<sup>4</sup>. Se realiza un corte transversal con la información de los Lugares de Trabajo Localizado a nivel de municipios (LTL), obtenidos en base a la movilidad laboral derivada del Censo de Población y Vivienda, realizado por INE en el año 2001. Estos lugares de trabajo localizado se utilizan como sinónimo de empleo en la estimación de los modelos enunciados.

Se ponen en práctica la mayor parte de técnicas y criterios de identificación basadas en la densidad de trabajadores, expuestas en la tabla 2; y además, se propone una nueva forma de ver la densidad, que permite subsanar la crítica del punto cuatro del apartado anterior.

---

<sup>3</sup> En la literatura una forma muy común de conocer el precio implícito de los atributos urbanos y arquitectónicos que condicionan la formación de los precios inmobiliarios es el método de los precios hedónicos -PH- (Rosen, 1974). En concreto mediante los PH el coeficiente de la distancia tanto al CBD como a los subcentros tendría que ser negativo (i.e.: a mayor distancia menor precio), una vez que el resto de atributos afiliados a las externalidades ambientales y a la jerarquía social han sido controlados (Roca, 1986).

<sup>4</sup> Se denominan artificializados, a los terrenos que cuentan con una transformación efectiva del suelo, por parte la acción humana, Este cálculo se hace según información de análisis espectral de las fotos satelitales, realizado en el CPSV-UPC.

Tabla 2. Organización de los modelos de identificación de subcentros utilizados

Familia	Nombre de trabajo	Método (expresión funcional)	Variable base	Criterio de identificación de subcentros
Densidad	Grupo 1 LOG DLTL	$D_{LTL} = a * e^{b*Dist_{BCN}+k}$	Densidad de empleos	Municipios cuyos residuos positivos son mayores a una desviación estándar
	Grupo 2 LOG DVECT	$D_{LTLv} = a * e^{b*Dist_{BCN}+k}$	Densidad vectorial de empleos	Municipios cuyos residuos positivos son mayores a una desviación estándar
	Grupo 3 EXP DLTL	$D_{LTL} = a * (Dist_{BCN})^b + k$	Densidad de empleos	Municipios cuyos residuos positivos son mayores a una desviación estándar
	Grupo 4 EXP DVEC	$D_{LTLv} = a * (Dist_{BCN})^b + k$	Densidad vectorial de empleos	Municipios cuyos residuos positivos son mayores a una desviación estándar
	Grupo 5 G&S	Umrales	Densidad de empleos	D empleo > 25 empleos/ha y Empleos > 10.000 LTL <sup>5</sup>
	Grupo 6 GL	Umrales	Densidad de empleos	LTL superior al 1% del sistema y densidad mayor a la media del sistema
	Grupo 7 SP DLTL	$\ln(D_{LTL}) = W_p + b * Dist_{BCN} + k$	Densidad de empleos	Función exponencial (LN) negativa y residuos positivos mayores a una desviación estándar
	Grupo 8 SP DVEC	$\ln(D_{LTLv}) = W_p + b * Dist_{BCN} + k$	Densidad vectorial de empleos	Función exponencial (LN) negativa y residuos positivos mayores a una desviación estándar
Flujos de Movilidad	Grupo 9 Grv FLE	$f_{ij} = \frac{\alpha * POR_i * (RW_j + Fle_j)}{d - \beta}$	Flujos de trabajadores	Municipios que presenten más flujos entrantes que los que el modelo le asigna, dejando constante la POR <sup>6</sup> y los trabajadores residentes
	Grupo 10 Grv LTL	$f_{ij} = \frac{\alpha * POR_i * LTL_j}{d - \beta}$	Flujos de trabajadores	Municipios que presenten más flujos entrantes que los que el modelo le asigna, dejando constante la POR y estimando los LTL

Fuente: Elaboración propia con base en Roca, *et al* (2010), Muñiz (2003) y Aguirre (2009).

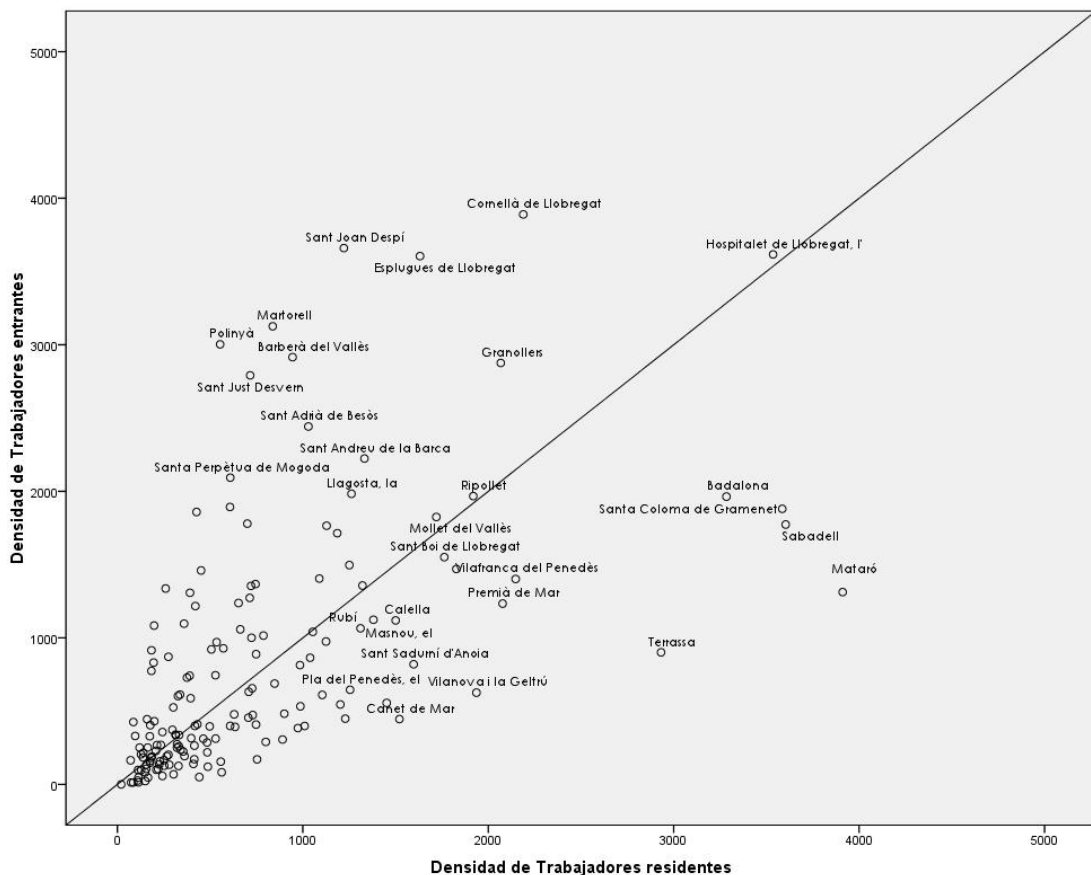
La crítica al estado del arte, sustenta la necesidad de construir una medida de densidad que permita capturar algún elemento de la movilidad laboral. La media propuesta es la norma de un vector entre la densidad de trabajadores residentes y entrantes, con miras a capturar el efecto de la movilidad, densidad vectorial en adelante. En la figura 1, se muestra la relación entre la

<sup>5</sup> LTL: Lugares de trabajo localizados  $LTL = RW + Fle$ , donde RW es el número de trabajadores que residen en mismo municipio que trabajan, mientras que los Fle son el número de trabajadores que vienen de otros municipios a trabajar.

<sup>6</sup> POR: Población ocupada residente  $POR = RW + Fls$ , donde los Fls, son los trabajadores que residen en el municipio y se van a otros municipios a trabajar.

densidad de trabajadores residentes (que es la cantidad de LTL que viven y trabajan en el municipio dividido por su superficie artificializada) y la densidad de trabajadores entrantes (que es la cantidad de LTL que trabajan en el municipio y viven fuera de este, dividido por su superficie). En ella se intuyen agrupaciones de municipios por sobre la línea de igualdad separando a los municipios conocidos como ciudades dormitorio de Barcelona, por ejemplo, Cornellà de Llobregat, l'Hospitalet de Llobregat, en la parte superior y municipios reconocidos como (sub)centros urbanos consolidados, como Sabadell, Terrassa, Mataró, Vilanova y la Geltrú y Vilafranca del Penedès, en la parte inferior; así como Badalona que, estando en el continuo urbano, en el año 2001 ya presentaba una cierta autonomía funcional dada la cantidad de actividad económica que tenía.

Figura 1. Densidad de trabajadores residentes v/s trabajadores entrantes



Fuente: Elaboración propia.

Respecto las críticas uno a la tres se plantea subsanarlas, estableciendo un método integrado de identificación y validación. En base a la definición de subcentro, se establece en una aproximación a su medición, identificación y validación, por medio de criterios expuestos, donde se observa que cada una de las etapas es coherente con la densidad, movilidad y valores inmobiliarios (ver tabla 3).



Tabla 3. Etapas del proceso de selección de subcentros a nivel de municipio

Etapa	Dimensión	Criterio
Identificación	Densidad	Puntos anómalos de densidad (usando los modelos del grupo 1 al 8)
	Movilidad	Recepción de mas flujos de los estimados por un modelo (modelo grupo 9 a 10) gravitatorio
Validación	Densidad	Aumento del $R^2$ de una regresión paramétrica o no paramétrica espacial
	Movilidad	Ranking de Movilidad Absoluta
		Ranking de los Indicadores de movilidad
	Valores Inmobiliarios	Diferencia entre los valores Inmobiliarios (subcentros y no subcentros)
		Aumento de $R^2$ en una regresión multivariada, signo y significancia del coeficiente
Aumento de $R^2$ en una regresión espacial, signo y significancia del coeficiente		

Fuente: Elaboración propia.

En la validación de la densidad y la movilidad, no se plantean problemas metodológicos. Sin embargo, se esperan problemas importantes en la estimación de los valores inmobiliarios, Según la literatura, el desarrollo de los modelos de estimación presentan grandes problemas de multicolinealidad y significancia estadística de los estimadores asociados a la distancia y accesibilidad, normalmente, a pesar de contar con buenos modelos en términos de ajuste, se vuelven los signos de los estimadores son incoherentes o sencillamente los coeficientes no son significativos. Es por eso que resulta conveniente establecer algunas condiciones de aceptación para los modelos de precios hedónicos, dónde se evaluará su ajuste, la consistencia teórica de los estimadores, la significancia de la regresión y sus estimadores, la no multicolinealidad de estimadores más relevantes.

## 5. Resultados y discusión

### 5.1 Identificación de subcentros

Se identificaron diferentes grupos de subcentros, utilizando cada uno de los criterios expuestos en la tabla 2. Tal como se esperaba, los modelos con la densidad vectorial (los grupos 2, 4 y 8), establecen un número diferente de subcentros que los de densidad de LTL habitual (grupos 1, 3 y 7). Los modelos exponenciales (grupos 1 y 2), no muestran una diferencia significativa entre los candidatos a subcentro según la densidad de LTL y la Vectorial, ya que cuentan con la misma cantidad de subcentros identificados y sólo presentan un municipio de diferencia: l'Hospitalet de Llobregat (que parece con la densidad vectorial, en el grupo 2).

Los modelos estimados con la función logarítmica, no son eficientes en la generación de un punto inicial con residuo bajo y que permita la conformación del manto de densidad, ya que en CBD debe ser el origen de la regresión exponencial y en particular el punto asintótico de la función exponencial negativa en formato logarítmico, replicando una condición de monocentrismo. En ese sentido, ambos modelos ubican como una anomalía el CBD, siendo

eficientes en la explicación de las densidades medias-bajas. Los modelos exponenciales gravitacionales muestran resultados muy diferentes cuando se calibran con densidad de LTL (grupos 1, 3 y 7) o densidad vectorial (grupos 2, 4 y 8).

Hay 5 municipios que son elegidos por todas las metodologías: Badalona, Mataró, Sabadell, Terrassa, Vilanova y la Geltrú. Son seleccionados por 9 metodologías y sólo descartados por el método gravitatorio de LTL (grupo 10), Granollers y Martorell. Es seleccionado por 8 métodos, al no ser identificado por el método gravitatorio de LTL (grupo 10) y el de umbrales de GL (grupo 6) el municipio de Vilafranca del Penedès. (ver figura 4 y tabla 4). En ese sentido, se observa que las diferentes metodologías presentan algunas diferencias en la identificación de subcentros. Por ejemplo, los modelos gravitacionales tienden a ubicar zonas anormales cercanas a la costa, mientras que los modelos espaciales, presentan municipios interiores y sus agrupaciones. En especial, la metodología de Spatial lag, con densidad vectorial (grupo 8), presenta continuos de densidad en las lejanías del CBD.

De los municipios elegidos por más de 5 métodos, se observa que los modelos espaciales, eliminan a los municipios del continuo central urbanizado de Barcelona (l'Hospitalet, Cornellà, Santa Coloma de Gramenet y Sant Andreu de la Barca) y los métodos de umbrales y gravitacionales, no seleccionan los municipios más alejados y que son identificados por los métodos de regresión. Un caso especial es el de Santa Coloma de Gramenet que es seleccionada como subcentro por 5 métodos, donde los modelos de flujos, regresiones exponenciales y espaciales no la seleccionan.

Al analizar los municipios que son elegidos por menos de 5 métodos, se observan las principales limitantes de los métodos, afirmando lo que se había considerado en la crítica al estado del arte. En general los métodos de residuos de una regresión paramétrica son coincidentes, donde su principal diferencia es en municipios asociados al continuo del CBD o de alguno de los subcentros identificados en todos los métodos. Por su parte los métodos que se basan en el establecimiento de un umbral, tienen a identificar municipios muy grandes del área metropolitana, además de municipios cercanos al CBD, obviando los subcentros del interior de la región metropolitana. Los modelos de Spatial lag, eliminan los municipios contiguos a los identificados por todos los métodos, en el caso de la densidad habitual, y genera continuos de densidades medias, en el caso de la densidad vectorial. Por otro lado, los modelos gravitacionales muestran mayores desaciertos con los otros métodos, el primero (grupo 9, donde se modelan solamente los flujos entrantes dejando todo el resto fijo) identifica municipios del interior que son identificados en los otros métodos, sin embargo identifica municipios contiguos al CBD y los municipios con gran densidad cercanos a él. El segundo modelo gravitacional, (grupo 10, donde se modela los LTL, dejando fijo todo lo demás) identifica los municipios de costa, en un claro error, manteniendo la identificación de los municipios ya reconocidos por la mayoría de los métodos.

Esta identificación de municipios como subcentros, queda claro que es necesaria una segunda etapa de validación de sus resultados. En esta publicación se aplicará la validación sobre conjuntos de municipios identificados, heredando la metodología, dejando para una segunda etapa la evaluación de los diferentes municipios, sin considerar de que metodología vienen identificados. En sí, los modelos identificación necesitan de ser híbridos y por ende, ser capaces de tener más de un criterio de identificación.

Figura 2. Subcentros de la RMB según diferentes métodos

Grupo 1 Regr. Log DLTl (LOG DLTl)



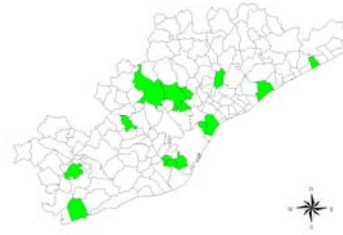
Grupo 2 Regr. Log DLTl vectorial (LOG DVECT)



Grupo 3 Regr. Exponencial DLTl (EXP DLTl)



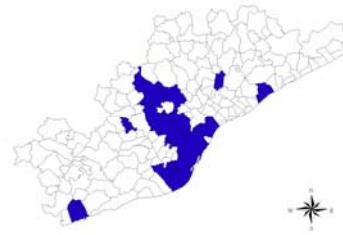
Grupo 4 Regr. Exponencial DLTl vectorial (EXP DVECT)



Grupo 5 Umbrales de Giuliano y Small (G&S)



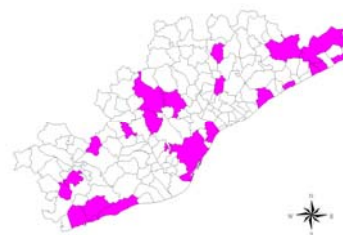
Grupo 6 Umbrales de García López (GL)



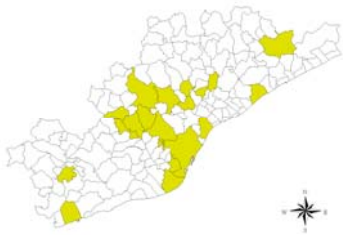
Grupo 7 Regr. Espacial DLTl (SP DLTl)



Grupo 8 Regr. Espacial DLTl vectorial (SP DVECT)



Grupo 9 Modelo gravitatorio, Asignación de Flujos entrantes (Grv FLE)



Grupo 10 Modelo gravitatorio, Asignación de LTL (Grv LTL)

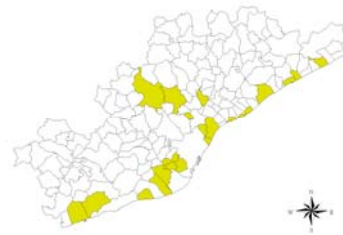


Tabla 4. Candidatos a subcentros seleccionados

Nombre	GR 1	GR 2	GR 3	GR 4	GR 5	GR 6	GR 7	GR 8	GR 9	GR 10	Total de métodos coincidentes
	EXLOG DLT	EXLOG DVECT	EXGRDL TL	EXGRDV EC	G&S	GL	SP DLT	SP DLT	Grv FLE	Grv LTL	
Badalona	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	10
Mataró	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	10
Sabadell	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	10
Terrassa	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	10
Vilanova i la Geltrú	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	10
Granollers	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	9
Martorell	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	9
Vilafranca del Penedès	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	8
Cornellà de Llobregat	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	7
Hospitalet de Llobregat, l'	0	1	1	1	1	1	0	0	1	1	7
Calella	1	1	1	1	0	0	1	1	0	0	6
Pineda de Mar	1	1	0	1	0	0	1	1	0	1	6
Sant Andreu de la Barca	1	1	0	1	1	0	1	0	1	0	6
Malgrat de Mar	1	1	0	1	0	0	1	1	0	0	5
Sant Sadurni d'Anoia	1	1	0	1	0	0	1	1	0	0	5
Santa Coloma de Grameneu	0	0	1	1	1	1	0	0	0	1	5
Canet de Mar	1	1	0	0	0	0	1	0	0	1	4
Pla del Penedès, el	1	1	0	1	0	0	1	0	0	0	4
Polinyà	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	4
Puigdàlber	1	1	0	1	0	0	1	0	0	0	4
Sant Joan Despí	0	0	1	1	1	0	0	0	0	1	4
Sant Martí Sarroca	1	1	0	1	0	0	1	0	0	0	4
Barberà del Vallès	1	0	1	1	1	0	0	0	0	0	4
Esplugues de Llobregat	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	3
Mollet del Vallès	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	3
Prat de Llobregat, el	0	0	0	0	1	1	0	0	1	0	3
Rubí	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	3
Sant Boi de Llobregat	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	3
Sant Celoni	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	3
Santa Margarida i els Monjos	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	3
Arenys de Mar	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	2
Garriga, la	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	2
Pacs del Penedès	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	2
Parets del Vallès	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	2
Premià de Mar	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	2
Ripollet	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	2
Sant Adrià de Besòs	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	2
Sant Cugat del Vallès	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	2
Sant Pere de Ribes	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	2
Santa Perpètua de Mogoda	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	2
Cerdanyola del Vallès	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	2
Viladecans	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	2
Abrera	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1
Aiguafreda	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1
Castellbisbal	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1
Castelldefels	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
Castellterçol	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1
Gavà	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1
Masnou, el	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
Montcada i Reixac	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1
Montseny	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1
Palau-solità i Plegamans	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1
Vilassar de Mar	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
Sitges	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1
Tordera	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1
Badia del Vallès	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
Cantidad de subcentros	22	22	15	26	25	15	22	20	19	24	

Fuente: Elaboración propia.

## 5.2 Validación de los subcentros

La validación de los grupos de subcentros nace de la incorporación de nuevos requisitos asociados a la definición de subcentros, que van más allá de la emergencia de densidad de trabajadores en un territorio. Para ello, se prueban tres dimensiones, a cada uno de los grupos de candidatos a subcentro identificados en el apartado anterior, las que son:

- a) Evaluar en qué medida la distancia a los subcentros mejora la explicación del manto de densidad de trabajadores (al incorporar la distancia de cada municipio al subcentro más cercano en los modelos de regresión)
- b) La identificación de relaciones de movilidad, con base en los indicadores de autocontención e indicadores de atracción de flujos de los municipios que son candidatos a subcentros
- c) Basándose en los modelos de “commuting”, la cercanía a los subcentros debería estar reflejada en un incremento de los precios residenciales

Para cada grupo de candidatos, se estimó un modelo policéntrico en dónde la variable a explicar era la densidad de LTL considerando, como variables explicativas, la distancia al CBD y diferentes medidas de accesibilidad a los subcentros. Para los modelos de Umbrales y los gravitacionales, se ajustó un modelo en versión exponencial gravitacional y exponencial logarítmica, seleccionando el primero, como versión estándar (Roca *et al*, 2009; McMillen 2004). Se probaron tres medidas de proximidad a los subcentros: la distancia al subcentro más cercano (diferente para cada grupo de subcentros), y dos medidas de accesibilidad en base a todas las distancias a los subcentros<sup>7</sup>.

Los modelos de exponenciales gravitatorios<sup>8</sup> (grupos 3 y 4) son los que presentan el mayor aumento de sus ajustes todas la medidas de distancias a los subcentros. El modelo que aumenta más su coeficiente de ajuste es el grupo 3, seguido de grupo 2 y el 4. Cabe destacar que los modelos espaciales mejoran bastante al incorporar a los subcentros, pero sus valores finales aún son menores que los modelos paramétricos (grupos del 1 al 4). Por su lado, los modelos de Umbrales (grupo 5 y 6) y Gravitacionales (grupos 9 y 10), son los que mejoran menos.

<sup>7</sup> La primera es el inverso de las sumas inversas de cada distancia a los subcentros y busca establecer una medida que incorpore el efecto de los municipios más lejanos al cada subcentro. En esa misma línea, y potenciando aún más estos valores, se considera la suma de los cuadrados inversos de estos valores.

Las formulas de la distancia 1  $d_{1hj} = \frac{1}{\sum \frac{1}{d_{hj}}}$  y distancia 2  $d_{2hj} = \sqrt{\frac{1}{\sum \frac{1}{(d_{hj})^2}}}$

<sup>8</sup> Cuya formulación se encuentra en la Tabla 2

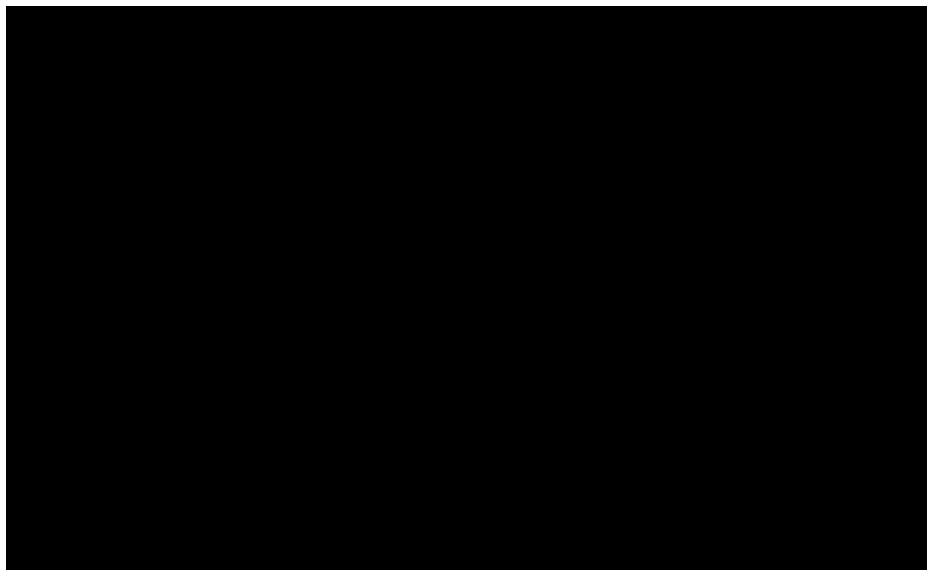
Tabla 5. Resultados de calibración de modelos policéntricos

Grupo	R2	R2 min dist	R2 dist 1	R2 dist 2
Grupo 1 LOG DLT	0,48	0,574	0,555	0,568
Grupo 2 LOG DVECT	0,48	0,787	0,786	0,788
Grupo 3 EXP DLT	0,52	0,822	0,817	0,819
Grupo 4 EXP DVEC	0,52	0,786	0,777	0,781
Grupo 5 G&S	0,48	0,514	0,559	0,568
Grupo 6 GL	0,48	0,531	0,567	0,603
Grupo 7 SP DLT	0,38	0,521	0,637	0,605
Grupo 8 SP DVEC	0,49	0,566	0,662	0,629
Grupo 9 Grv FLE	0,48	0,577	0,565	0,556
Grupo 10 Grv LTL	0,48	0,492	0,488	0,487

Fuente: Elaboración propia.

En términos de la movilidad de cada grupo de candidatos a subcentro, se calculó las tasas de autocontención y autosuficiencia promedio de cada grupo de subcentros, además de calcular el porcentaje de trabajadores del sistema metropolitano que se están involucrados en cada grupo, con y sin el CBD. Los resultados se muestran en la tabla 6, donde se observa que el grupo gravitacional de LTL (grupo 10), García López (grupo 6) y Giuliano y Small (grupo 5), tienen valores de autocontención inferiores al 50%. Asimismo los valores de autosuficiencia más altos se encuentran en los grupos espaciales (tabla 6). Para la autocontención, los valores inferiores al 50% están en los grupos 5, Giuliano y Small, y en el grupo 9, gravitatorio de flujos. Los valores más altos, se encuentran nuevamente en los grupos generados por medio de regresiones espaciales (grupos 7 y 8). Sin embargo, al analizar las masas totales del LTL del sistema y de cada grupo de subcentros, se observa una baja significativa de los modelos espaciales, así como un aumento de los valores de los modelos de umbrales.

Tabla 6. **Medidas de autocontención, autosuficiencia y total de LTL por cada método de identificación**



Fuente: Elaboración propia.

Se podría pensar que los modelos espaciales, al considerar los efectos bordes en cada subcentro, y de hecho su efecto sobre los municipios aledaños, eliminan a los municipios de la conurbación central (p.e.: l'Hospitalet, Cornellà, etc.) lo que disminuye en la cantidad de LTL ubicados en estos municipios.

Una segunda evaluación desde la movilidad, es el cálculo de indicadores, como la media de los flujos que atraen cada uno de los grupos de subcentros de cada uno de los municipios de la AMB. Dada la diversidad de tamaños dentro de cada grupo de subcentros, este cálculo se realizó desde dos perspectivas, la primera es la estimación de la media de flujos (denominado I1) y sus medias robustas<sup>9</sup> (tabla 7). Se observa una que los resultados en base a los valores vectoriales y su diferencia con los valores de densidad tradicional, podemos observar que los grupos vectoriales, tienen medias más altas que sus pares de LTL, como también que presentan menos diferencias con al calcular las medias robustas.

---

<sup>9</sup> La motivación es producir estimadores robustos ante distribuciones no normales o con muchos valores límites, la Huber's M estimador.

Tabla 7. Medias y media robusta de flujos atraídos a cada grupo de subcentros

Grupo	Numero de subcentros	I1	Estimador de media robusta			
			M Huber	Biponderado de Tukey	M de Hampel	Andrew
Grupo 1 LOG DLT	22	8.643	5.736	4.637	6.198	4.605
Grupo 2 LOG DVECT	22	7.728	5.734	5.258	6.402	5.243
Grupo 3 EXP DLT	26	9.267	7.668	7.439	8.112	7.444
Grupo 4 EXP DVEC	15	13.559	12.845	12.731	12.944	12.737
Grupo 5 G&S	25	12.539	10.438	10.077	10.443	10.045
Grupo 6 GL	15	15.735	15.384	14.891	15.270	14.861
Grupo 7 SP DLT	22	6.166	2.846	1.652	2.169	1.629
Grupo 8 SP DVEC	20	7.449	3.588	2.309	2.659	2.309
Grupo 9 Grv FLE	19	12.575	12.577	12.228	12.665	12.211
Grupo 10 Grv LTL	24	8.893	6.603	5.371	6.716	5.322

Fuente: Elaboración propia.

Siguiendo la teoría de la renta ofertada, sería previsible esperar que los valores inmobiliarios estuviesen condicionados por las aglomeraciones de trabajadores. Así el CBD y los subcentros deberían contar con valores inmobiliarios superiores al resto de municipios, si todo lo demás permanece constante. Así, para validar los conjuntos de subcentros se utilizan tres acercamientos, el primero corresponde a determinar que las medias de precios sean distintas, el segundo que aumente el valor explicativo de una regresión múltiple de precio hedónico al incorporar la distancia a los subcentros y finalmente la misma situación, pero asociada a regresiones múltiples corregidas por autocorrelación espacial.

El primer análisis intenta probar la hipótesis de que los modelos de identificación permiten seleccionar municipios como potenciales subcentros cuyos valores residenciales son estadísticamente más altos a los no seleccionados. Para cumplir con este análisis, se utilizará un análisis de varianza de un factor y la prueba no paramétrica de Wilcoxon-Mann-Whitney (en adelante, WMW). En la tabla 8, se muestra los resultados del Anova, donde se infiere que sólo los candidatos seleccionados en los Grupos, 4, 5, 6 y 10, son significativamente diferentes a los no seleccionados, en relación a su precio residencial medio por metro cuadrado, con lo cual estos métodos muestran su eficiencia en esta selección. Sin embargo, este análisis presupone una distribución normal, lo que no es asegurable en los conjuntos de candidatos a subcentros. Los resultados para cada Grupo en el test no paramétrico de WMW, permite identificar a los grupos que efectivamente discriminan entre los valores inmobiliarios del conjunto de subcentros y los otros municipios, Estos grupos son el nº 4, 5, 6, 9 y 10. El resto de los grupos,



no marca una diferencia estadísticamente fuerte y significativa que permita aprobar la hipótesis de que son distintos.

Tabla 8. Test de igualdad de medias (valores residenciales euros/m<sup>2</sup>)

Grupo		ANOVA de un factor					Test de Wilcoxon-Mann-Whitney			
		Media aritmética	Varianza	Probabilidad	F	Valor crítico para F	Media Calculada	p-value	95% rango	
1	Subcentros	1.083	61.574	0,2247	1,486	3,9006	1115,4	0,324	-1184	55,2
	No Subcentros	1.159	74.933				1153,5			
2	Subcentros	1.100	70.051	0,3689	0,812	3,9006	1115,4	0,511	-170	78,8
	No Subcentros	1.156	73.998				1150,8			
3	Subcentros	1.208	77.479	0,2196	1,519	3,9006	1215,5	0,124	-28,1	1202
	No Subcentros	1.137	72.346				1135,3			
4	Subcentros	1.289	37.662	0,0341	4,567	3,9006	1269,4	0,018	31,6	295,7
	No Subcentros	1.134	75.085				1129,9			
5	Subcentros	1.343	29.823	0,0341	16,89	3,9006	1362,2	0	146,2	337,1
	No Subcentros	1.112	73.329				1104,7			
6	Subcentros	1.374	27.122	0,0018	10,02	3,8955	1399,1	0	109,9	346,7
	No Subcentros	1.148	73.390				1147,7			
7	Subcentros	1.057	49.691	0,0878	2,95	3,9006	1090,4	0,118	-210	22
	No Subcentros	1.163	75.978				1153,5			
8	Subcentros	1.181	64.903	0,563	0,336	3,9006	1153,9	0,726	-210	22
	No Subcentros	1.144	74.889				1144,7			
9	Subcentros	1.261	37.056	0,0522	3,825	3,9006	1242,7	0,023	19,1	243,6
	No Subcentros	1.133	76.593				1120,4			
10	Subcentros	1386	31.899	0,0001	16,54	3,8931	1399,1	0	135,8	345,6
	No Subcentros	1148	18.494				1147,7			

Fuente: Elaboración propia.

El siguiente paso ha consistido en la estimación de estimar regresiones hedónicas, para explicar el precio de las viviendas en cada municipio, incorporando las distancias mínimas de cada municipio al municipio candidato a subcentro de cada grupo, se estiman 10 ecuaciones, que se resumen en la tabla 9. Se observa que la mayoría de las regresiones empeoran su coeficiente de ajuste, o en su defecto los coeficientes de la variable distancia mínima al grupo de subcentros, presentan coeficientes que no son significativos al 95% del nivel de confianza. El Grupo 4 (15 subcentros), presenta un aumento en el ajuste y además ambos coeficientes, el de la distancia al CBD y a los subcentros, son significativos. Los grupos 10 y 6, aumentan el ajuste respecto a la regresión inicial, pero ambos presentan problemas de multicolinealidad entre sus variables expresados en el signo positivo del coeficiente de distancia mínima al grupo de subcentros, en contra de lo esperado ya que expresa que en precio aumenta en la medida que nos alejamos del subcentro más cercano.

Resulta interesante explorar las razones del por qué en los otros grupos de subcentros, no es posible estimar una regresión eficiente. Una de las hipótesis del modelo de regresión lineal múltiple establece que no existe relación lineal exacta entre las covariables, en otras palabras, establece que no existe multicolinealidad perfecta en el modelo. Esta hipótesis es necesaria para el cálculo del vector de estimadores mínimo cuadráticos, ya que en caso contrario la matriz de regresores será no singular. La multicolinealidad perfecta no se suele presentar en la

práctica, salvo que se diseñe mal el modelo. En cambio, sí es frecuente que entre los regresores exista una relación aproximadamente lineal, en cuyo caso los estimadores que se obtengan serán en general poco precisos, aunque siguen conservando la propiedad de lineales, insesgados y óptimos.

La relación entre variables explicativas, hace que sea difícil cuantificar con precisión el efecto que cada una de ellas ejerce sobre la variable explicada, lo que determina que las varianzas de los estimadores sean elevadas. Cuando se presenta una relación aproximadamente lineal entre las variables explicativas, se dice que existe multicolinealidad no perfecta. Es importante señalar que el problema de multicolinealidad, en mayor o menor grado, se plantea porque no existe información suficiente para conseguir una estimación precisa de los parámetros del modelo. Este es precisamente nuestro problema: muchos subcentros están cerca del CBD, de manera que a partir de cualquier municipio la distancia a éstos está estrechamente correlacionada con la distancia al CBD. Una manera alternativa de evitar la multicolinealidad sería considerar la distancia inversa al subcentro más cercano. Sin embargo, esta aproximación admitiría, a priori, que la influencia del CBD sobre los valores inmobiliarios es superior que y no la del conjunto de subcentros potenciales.

Tabla 9. Resumen de modelos por Grupo

	Constante	Distancia a BCN (CBD)	Distancia al subcentro más cercano	Test de multicolinealidad Para distancia mínima
	R <sup>2</sup>	k	$\beta_{cbd}$	$\beta_{min\_sct}$
Base Inicial	0.735	1399.481	7.49	-
Sólo distancia a CBD		(36,893)	(-6,787)	-
Grupo1	0.734	1396.36	-7.50	0.367
		(33,873)	(-6,769)	(0,196)
				Tolerancia=0.636
Grupo2	0.734	1394.62	-7.50	0.575
		(33,85)	(-6,733)	(0,308)
				Tolerancia=0.637
Grupo3	0.734	1394.50	-7.551	0.852
		(35,047)	(-6,776)	(0,465)
				Tolerancia=0.581
Grupo4	0.746	1412.93	-7.41	-1.47
		(35,101)	(-6,699)	(-1,999)
				Tolerancia=0.968
Grupo5	0.737	1324.23	-6.82	5.59
		(29,095)	(-6,183)	(2,852)
				Tolerancia=0.877
Grupo6	0.740	1399.00	-5.93	-3.82
		(37,213)	(-4,388)	(-1,954)
				Tolerancia=0.353
Grupo7	0.735	1374.01	-7.25	1.63
		(28,871)	(-6,384)	0.887
				Tolerancia=0.826
Grupo8	0.737	1324.24	-6.82	5.59
		(29,096)	(-6,183)	(2,853)
				Tolerancia=0.877
Grupo9	0.738	1387.08	-8.07	3.14
		(30,584)	(-6,965)	(1,571)
				Tolerancia=0.666
Grupo10	0.742	1400.62	-7.45	-0.19
		(35,263)	(-6,402)	(-0,1)
				Tolerancia=0.467

Fuente: Elaboración propia.

Se exploró la generación de regresiones espaciales evaluando los mismos criterios el ajuste y la significancia de los coeficientes. La primera es la de MCO<sup>11</sup> ponderados, un modelo de Spatial Lag y un modelo de Spatial Error<sup>12</sup>, todos con la misma matriz de contigüidad<sup>13</sup>.

El modelo de MCO ponderado (tabla 10), mejora los ajustes de la regresión, sin embargo, que se observan en el cambio de signo para los coeficientes de la distancia mínima, manteniendo los problemas de multicolinealidad antes vistos.

Tabla 10. Resumen de modelos por grupo, regresión por MCO ponderados. Queen 13

			Constante	Coefficiente de Distancia a BCN	Coefficiente de Distancia al subcentro más cercano	Diferencia de $r^2$
		$R^2$	k	$\beta$	$\beta_i$	$\Delta$
<b>Base Inicial Modelo</b>	Regresión Sin Subcentros	0.735	1399.48	-7.488	-	-
<b>Modelo Inicial MCO Ponderada</b>	Regresión Sin Subcentros	0.743	1396.41	-7.498	0.3699	-
<b>Modelo Inicial MCO Ponderada agregando la distancia mínima al subcentro</b>	Grupo1	0.7444	1396.40	-7.499	0.3699	0.010
	Grupo2	0.7440	1394.66	-7.050	0.5771	0.009
	Grupo3	0.7443	1394.09	-7.555	0.8566	0.010
	Grupo4	0.7456	1413.02	-7.4120	-1.469	0.011
	Grupo5	0.7567	1324.22	-6.8263	5.597	0.022
	Grupo6	0.7501	1399.07	-5.9377	-3.815	0.016
	Grupo7	0.7452	1374.02	-7.2590	1.633	0.011
	Grupo8	0.7569	1324.23	-6.8260	5.596	0.023
	Grupo9	0.7480	1387.13	-8.0719	3.148	0.014
	Grupo10	0.7440	1400.67	-7.4561	-0.019	0.010

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 11 y 12, se observan los resultados de las regresiones espaciales, tanto los Spatial Lag, como los de Spatial Error. En ambos casos se observa que mejoran los indicadores de ajuste, lo que se debe específicamente a la mejora que introduce la reducción de la autocorrelación espacial de los valores de precios inmobiliarios propias de las hipótesis de estas regresiones. Se observa el aumento en los ajustes, al modificar los valores mediante los factores de corrección, los  $w$ , o coeficientes de corrección, en el caso de los Spatial Lag y factor de corrección de los residuos  $\lambda$ , en el caso de los Spatial error. En el caso de Spatial Lag, no son significativos los valores de los modelos 1, 5 y 7 y en el caso de los Spatial

<sup>11</sup> Mínimos cuadrados ordinarios.

<sup>12</sup> Retardo espacial y Erro espacial, calculados por máxima verosimilitud en el Software libre GeoDA, de Luc Anselin.

<sup>13</sup> En este caso se tomó la Queen 1, que corresponde a todos los municipios inmediatamente contiguos.

Error, quedan todos los modelos aceptados, pero presenta multicolinealidad el grupo 6. Si se analiza los valores de corrección y el aumento de los ajustes de la regresión, en ejes ortogonales, con lo cual sería posible establecer cuál o cuáles son los grupos de subcentros son más eficientes en su selección eficiente reflejada en que requieren de una menor corrección para explicar los precios. En ese sentido, se muestra que los modelos de densidad vectorial son lo que de mejor forma explican los precios de la vivienda a nivel municipal, en particular el grupo de la regresión que corresponde al grupo 4.

Tabla 11. Resumen de modelos por grupo, regresión por Spatial Lag. Queen1

			Constante	Distancia A BCN	Distancia al subcentro más cercano	Z moran Distancia mínima	W
		R <sup>2</sup>	k	β	β1		
<b>Base Inicial Modelo</b>	<b>Regresion Sin Subcentros</b>	0.735	1399.48	-7.488	-	-	-
<b>Base Inicial Spatial Lag</b>	<b>Regresion Sin Subcentros</b>	0.8488	479.21	-0.4321	-	-	0.5973
<b>Spatial Lag agregando la distancia mínima al subcentro</b>	Grupo1	0.8501	478.74	-0.3132	1.361	-0.953	0.6050
	Grupo2	0.8498	478.49	-0.3267	-1.215	-0.8503	0.6040
	Grupo3	0.8496	4.75.67	-0.2787	-1.031	-0.7368	0.6040
	Grupo4	0.8490	488.86	-0.4270	-0.640	-0.5668	0.5949
	Grupo5	0.8487	484.89	-0.4555	1.290	0.406	0.5824
	Grupo6	0.8511	490.06	0.5237	-2.557	-1.674	0.5901
	Grupo7	0.8489	480.29	-0.4446	1.602	-0.113	0.5983
	Grupo8	0.8487	484.89	-0.4555	-1.290	0.831	0.5824
	Grupo9	0.8491	474.91	-0.3128	-0.402	-0.259	0.6012
	Grupo10	0.8488	479.83	-0.4141	-0.097	-0.066	0.5973

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 12. Resumen de modelos por grupo, regresión por Spatial Error, Queen1

			Constante	Distancia A BCN	Distancia mínima	Z moran Distancia mínima	Lambda
		R <sup>2</sup>	k	$\beta$	$\beta_i$		$\lambda$
<b>Base Inicial Modelo</b>	<b>Regresión Sin Subcentros</b>	0.735	1399.48	-7.488	-	-	-
<b>Base Inicial Spatial error</b>	<b>Regresión Sin Subcentros</b>	0.8381	1351.27	-5.8562	-	-	0.689
<b>Modelo Spatial Error agregando la distancia mínima al subcentro</b>	Grupo1	0.8404	1357.65	-5.4581	-2.166	-1.1510	0.702
	Grupo2	0.8402	1357.53	-5.4809	-2.098	-1.1150	0.7019
	Grupo3	0.8420	1348.28	-4.9773	-2.974	-1.4430	0.7151
	Grupo4	0.8382	1357.55	-5.8282	-0.623	-0.5624	0.6863
	Grupo5	0.8386	1352.89	-5.7879	-0.406	-0.2178	0.6954
	Grupo6	0.8457	1343.10	-3.1152	-6.033	-2.711	0.6963
	Grupo7	0.8421	1364.30	-5.3917	-2.582	-1.315	0.7217
	Grupo8	0.8386	1352.88	-5.7881	-0.045	-0.217	0.0662
	Grupo9	0.8410	1344.25	-4.9395	-2.271	-1.002	0.7163
	Grupo10	0.8405	1353.31	-4.8635	-2.952	-1.287	0.6988

Fuente: Elaboración propia.

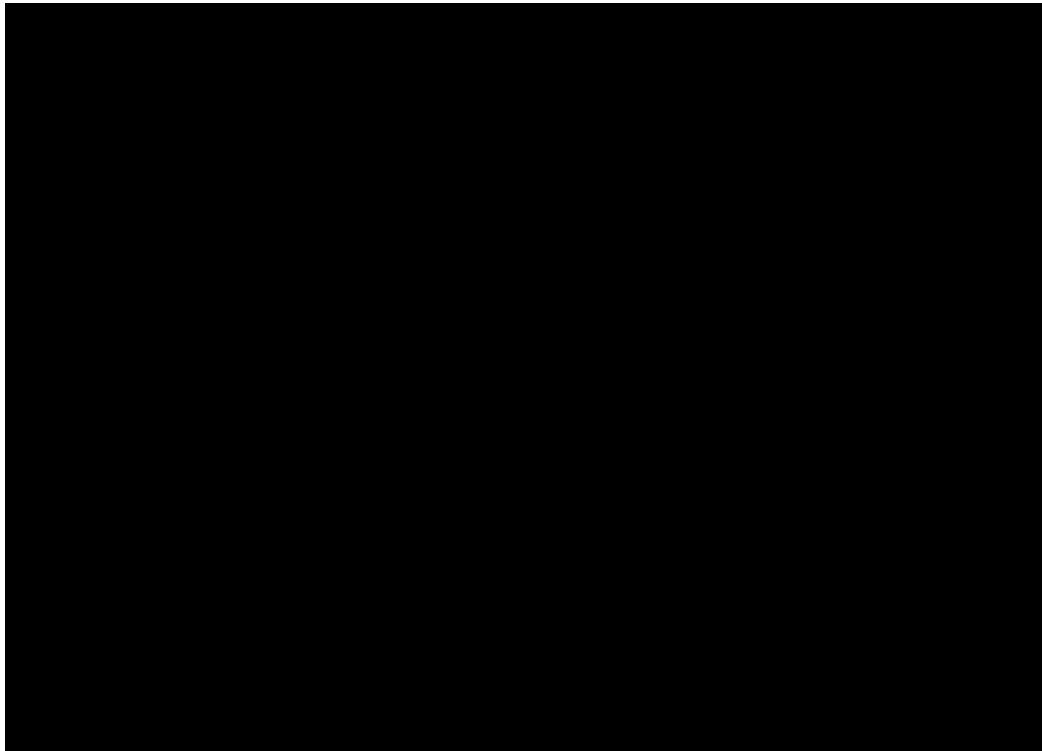
## 6. Conclusiones

La identificación y selección municipios que se pueden definir como subcentros urbanos en un ámbito metropolitano, es un proceso que requiere de los análisis que van más allá de las densidades de trabajadores o la movilidad en particular.

La investigación aquí expuesta ha buscado desarrollar una propuesta de clasificación de modelos de identificación basada en la definición de subcentros y no en las metodologías existentes, estableciendo los subcentros laborales en la Región Metropolitana de Barcelona mediante un método de validación en base a tres ejes: la explicación de la densidad de los vecinos, la movilidad o su capacidad de estructurar flujos y viajes, y por ultimo su impacto en los precios de situación de la vivienda. Además, explora una primera aproximación a la formación de densidades que intenten captar los aspectos de la movilidad, denominada Densidad Vectorial.

La densidad vectorial (figura 1), que es la generación de un valor de densidad corregida respecto a la densidad tradicional, incorpora los trabajadores residentes y trabajadores entrantes al municipio mediante la generación de un vector, cuya norma es la densidad vectorial. Esta densidad resultó más eficaz en la determinación de subcentros metropolitanos en el caso de la Región Metropolitana de Barcelona, comparando con los modelos de regresión paramétrica y espacial estimados con la densidad tradicional. Sin embargo, el modelo clásico de regresión exponencial logarítmica se calibra con la densidad vectorial funciona casi de manera equivalente al modelo de densidad tradicional, lo que hace sospechar que esta densidad por sí misma no es concluyente para la identificación de subcentros, mientras no se pruebe para otros territorios.

Tabla 13. Resumen de la validación de cada grupo se subcentros



Fuente: Elaboración propia.

De manera general, para la Región Metropolitana de Barcelona se ha identificado un grupo de 15 subcentros, correspondiente a los municipios con residuos positivos y significativos de una regresión paramétrica exponencial negativa. Este grupo, demuestra ser el más eficaz en términos generales, al explicar mejor: la función metropolitana de densidad de empleo, la movilidad residencia-trabajo y los valores residenciales.

En el caso de los valores residenciales, existe una relación entre los valores residenciales y la accesibilidad a los subcentros, éstos pueden ser utilizados como instrumento para validar a los municipios candidatos a subcentro, dentro del marco de la teoría de la renta ofertada.

Aunque en el caso de estudio, se presenta una correlación entre las variables y la distancia Barcelona, con lo cual la mayoría de los modelos son rechazados por multicolinealidad, pero los modelos donde este fenómeno no está presente, son consecuentes con las validaciones de los mantos de densidad y movilidad, por lo cual, se estima que son los más robustos.

## Bibliografía

ALONSO, William. *Location and Land Use*, 1th Edition, Cambridge, Mass., Harvard University Press. 1964. 216 p.

AGUIRRE, Carlos y MARMOLEJO, Carlos. *Impacto del policéntrismo sobre la distribución espacial de los valores inmobiliarios: Un análisis para la Región Metropolitana de Barcelona*. En: *Revista de la Construcción*, (Forthcoming), 2009.

AGUIRRE, C., RAMOS, R., *Impacto del ruido urbano en el valor de los departamentos nuevos: un estudio de precio hedónico aplicado a bienes ambientales*. En: *Revista de la Construcción*, 4(1): 59-69, 2005.

BERTAUD, Alain. *The Spatial Organization of Cities: Deliberate Outcome or Unforeseen Consequence? World Development Report, Dynamic Development in a Sustainable World*. [En línea] [fecha consulta, 23 de abril de 2008]. Disponible en: <http://alain-bertaud.com/>.

BURNS, Malcom; MOIX, Montse y ROCA, Josep. *Contrasting Indications of Polycentrism within Spain's Metropolitan Urban Regions*. En: *European Estate Society Conference* (8<sup>th</sup>, Alicante, España). pp: 456-470.

COOMBES, M., OPENSHAW, S. *The use and definition of travel-to-work areas in Great Britain: some comments*. En: *Regional Studies*, (16): 141-149, 1982.

CRAIG, S.G. y NG, P.T. *Using Quantile Smoothing Splines to Identify Employment Subcentres in a Multicentric Urban Area*. En: *Journal of Urban Economics*, (49): 100-120, 2001.

FUJITA, Masahisa; KRUGMAN, Paul y VENABLES, Anthony. *Economía Espacial, Las ciudades, las regiones y comercio internacional*. 1ª Edición, Barcelona, Ariel Economía, 2000. 363 p.

GARCÍA-LÓPEZ, Miguel Ángel. *Estructura Espacial del Empleo y Economías de Aglomeración: El Caso de la Industria de la Región Metropolitana de Barcelona*. En: *Architecture, City & Environment*, II (4): 519-553, 2007.

GIULIANO, Genevieve y SMALL, Kennet A. *Subcenters in Los Angeles Region*. En: *Regional Science and Urban Economics*, (21): 163-182. 1991.

GORDON, Peter y RICHARSON, H.W. *Beyond Polycentricity. The Dispersed Metropolis, Los Angeles, 1970-1990*. En: *Journal of the American Planning Association*, 62 (3): 289-295, 1996.

HEIKKILA, E., GORDON, P., KIM, J.I., PEISER, B., RICHARDSON, H.W. y DALE-JOHNSON, D. *What happened to the CBD-Distance Gradient?: land values in a polycentric city*. En: *Environment and Planning A*, (21): 221-232, 1989.

MARMOLEJO, Carlos y ROCA, Josep. *Hacia un modelo teórico del comportamiento espacial de las actividades de oficina*. En: *Scripta Nova. Revista electrónica de geografía y ciencias sociales*, X (217), 2006.

MCDONALD, John F. *The Identification of Urban Employment Subcenters*. En: *Journal of Urban Economics*, (21): 242-258, 1987.

- MCDONALD, John F. y MCMILLEN, Daniel P. *Employment Subcenters and Land Values in a Polycentric Urban Area: the Case of Chicago*. En: Environment and Planning A, (22): 1561-1574, 1990.
- MCDONALD, John F. y MCMILLEN, Daniel P. *Land values, land use, and the first Chicago Zoning Ordinance*. En: Journal of Real Estate Finance and Economics, 16 (2): 135-150, 1998.
- MCDONALD, John F. y MCMILLEN, Daniel P. *Urban economics and real estate: theory and policy*. 1ª Edición. Boston, USA, Blackwell, Malden MA, 2007. 640 p.
- MCMILLEN, Daniel P. *Identifying Subcentres Using Contiguity Matrices*. En: Urban Studies, 40 (3): 57-69, 2003.
- MCMILLEN, Daniel P. *Non-Parametric Employment Subcenter Identification*. En: Journal of Urban Economics, (50): 448-473, 2001.
- MCMILLEN, Daniel P. *One Hundred Fifty Years of Land Values in Chicago: A Nonparametric Approach*. En: Journal of Urban Economics, (40): 100-124, 1996.
- MCMILLEN, Daniel P. y MCDONALD, John F. *A Nonparametric Analysis of Employment Density in a Polycentric City*. En: Journal of Regional Science, (37): 591-612. 1997.
- MUÑIZ, Iván. *¿Es Barcelona una ciudad policéntrica?* [En línea]. Working Paper 03.09, Departamento de Economía Aplicada, UAB. 2003. [Fecha de consulta: 12 de marzo de 2008]. Disponible en: <http://www.ecap.uab.es>
- MUÑIZ, Iván y GALINDO, Ana. *Descentralisation, integration and polycentrism in Barcelona*. [En línea]. Working paper 05.12, Departamento de Economía Aplicada, UAB, 2003. [Fecha de consulta: 12 de marzo de 2008]. Disponible en: <http://www.ecap.uab.es>
- MUÑIZ, Iván; GALINDO, Ana y GARCIA, Miguel Angel. *Cubic spline population Density functions and satellite city delimitation: The case of Barcelona*. En: Urban studies, (40): 1303-1321.
- MUTH, R. *Cities and Housing: The Spatial Pattern of Urban Residential Land Use*. Chicago. Chicago, Illinois, USA, University of Chicago, 1969. 355 p.
- ROCA, Josep. *La Estructura de valores urbanos un análisis teórico-empírico*, 1ª Edición. Madrid, Instituto de Estudios de Administración Local, 1988. 320 p.
- ROCA, Josep; MARMOLEJO, Carlos y MOIX, Montserrat. *Estructura Urbana y Policentrismo. Hacia una redefinición del concepto*. En: Urban studies, (Forthcoming), 2010.
- ROCA, Josep y MOIX, Montserrat. *Cap a una nova organització territorial de Catalunya*. Research paper 5-2004. Barcelona, Centro de Política de Suelo y Valoraciones, Universidad Politécnica de Cataluña, 2004.
- REDFEARN, Chistian L. *The Topography of Metropolitan Employment: Identifying Centers of Employment in a Polycentric Urban Area*". En: Journal of Urban Economics, (61): 519-561, 2007.
- SHEARMUR, Richard y COFFEY, William. *A Tale of Four Cities: Intrametropolitan Employment Distribution in Toronto, Montreal, Vancouver, and Ottawa-Hull, 1981-1996*. En: Environment and Planning A, (34): 575-598, 2002.