

## INTRODUCCIÓN

La relación que se establece entre el nivel de densidad residencial y la accesibilidad al lugar de empleo en el interior de una área urbana parece ser más compleja que la supuesta en el Modelo de Ciudad Monocéntrica. Las estimaciones de funciones de densidad residencial más simples, sustentadas en un modelo teórico que suponía una concentración total del empleo en el distrito central y que utilizaban como única medida de accesibilidad la distancia al centro, han dado paso a estimaciones más sofisticadas donde la distancia al centro no es la única medida de accesibilidad utilizada, la función de densidad es más flexible y la densidad no sólo se explica en función de la accesibilidad.

La Región Metropolitana de Barcelona, una conurbación policéntrica estructurada sobre unos ejes de expansión claramente definidos, parece ser un ámbito de contrastación especialmente adecuado para las nuevas funciones de densidad residencial.

En el primer apartado presentamos de forma resumida las principales críticas a la función de densidad estándar, sus virtudes y las últimas propuestas alternativas. El segundo apartado está dedicado a la caracterización de la Región Metropolitana de Barcelona como resultado de un proceso evolutivo marcado por las contingencias tecnológicas, políticas y económicas. En el tercer apartado se muestran los resultados de las diferentes especificaciones ensayadas. Finalmente se presentan las conclusiones del estudio.

# 1. DENSIDAD RESIDENCIAL Y ACCESIBILIDAD

## La Función de Densidad Residencial Exponencial

Una de las principales conclusiones del modelo de ciudad monocéntrica (Alonso (1964), Muth (1969)) es que la relación entre densidad y accesibilidad aparece como reflejo de otra relación más básica que se establece entre el precio del suelo y la accesibilidad. En la Ciudad Monocéntrica la densidad residencial se reduce paulatinamente como resultado de una **compensación** en el precio del suelo –y por tanto de la vivienda- para aquellas familias que residen a mayor distancia del centro de negocios (*Central Business District*).

En la ecuación (1) aparece la forma más común de representar la función de densidad exponencial.

$$D(X) = D_0 e^{-\gamma x} \quad (1)$$

Donde  $D(x)$  es la densidad residencial neta a una distancia  $x$  del centro,  $D_0$  es la densidad teórica en el distrito central y  $\gamma$  es el gradiente de densidad. El gradiente mide la tasa proporcional a la cual la densidad residencial se reduce cuando nos alejamos del centro. El valor del gradiente está a su vez relacionado con el grado de suburbanización del área urbana estudiada. Cuanto más suburbanizada, menor será su gradiente.

La función exponencial permite predecir la densidad residencial en cualquier punto a partir de los parámetros estimados (densidad teórica en el centro y gradiente de densidad) y una única variable explicativa, la distancia al centro.

De entre las diferentes críticas a los supuestos del modelo de Ciudad Monocéntrica, tres afectan directamente a la forma funcional.

### **Accesibilidad y distancia al centro.**

La accesibilidad de la residencia respecto al lugar de empleo dependería exclusivamente de la distancia al centro sólo en caso de que 1) todos los puestos de trabajo se localizaran en el distrito central, 2) el sistema de transporte fuera radial y 3) estuviera organizado mediante un número infinito de ejes que, partiendo del centro, conectarán todos los barrios residenciales.

Dejando de lado la problemática asociada a la dispersión del empleo (localización central y no-transversalidad en los desplazamientos) resulta destacable el hecho de que todas las ciudades crecen en mayor o menor medida sobre un número limitado de ejes de expansión. Para una misma distancia al centro, las áreas residenciales que estén a menor distancia de los principales ejes de comunicación tendrán una mayor accesibilidad.

Según el modelo de Steen (1986), la función de *bid-rent*<sup>1</sup> -y por tanto la densidad- debe incorporar dos gradientes diferentes, uno asociado a la distancia al centro y otro a la distancia perpendicular hasta el eje más cercano. El valor estimado de este segundo gradiente debiera además ser mayor que el del primero ya que la accesibilidad decrece más rápidamente con la distancia al eje que con la distancia al centro para una distancia al eje igual a cero.

## **Subcentros, periferias densas y anillos verdes**

La Ciudad Monocéntrica ideal es el resultado de su expansión en forma de mancha de aceite sobre un espacio vacío y no accidentado cuyo valor económico depende de su accesibilidad. Lejos de seguir esta tendencia, el crecimiento de las conurbaciones asiáticas y europeas no ha consistido en una urbanización paulatina con densidades suavemente decrecientes desde de los bordes de la ciudad clásica del XIX, sino mediante barrios de vivienda masiva, políticas de contención (anillos verdes) y protección de espacios rurales, e integrando ciudades medias y municipios rurales que anteriormente no entraban en el área de influencia residencia-trabajo del municipio central. Las regiones urbanas europeas se caracterizan por sus discontinuidades y "grumos de densidad" (Dieleman y Faludi (1998) y Lambooy (1998)).

En el caso de las ciudades Norteamericanas, la descentralización del empleo que siguió a la suburbanización de la población ha llevado finalmente a la formación de subcentros (*edge cities*) como resultado de una estrategia encaminada a alcanzar una mayor eficiencia en la producción (economías de aglomeración) y en los desplazamientos residencia-trabajo (Garreau (1991), Giuliano y Small (1991), Mc Millen y Mc Donald (1998), Cervero y Wu (1997)).

La presencia de periferias densas (barrios dormitorio), subcentros y anillos verdes no puede ser capturada por una función exponencial. De aquí la tendencia a utilizar una función *cubic-spline* en los estudios aplicados a las ciudades europeas Goffette-Nagot y Schmitt (1999)), asiáticas (Zheng (1991)) y Norteamericanas (Anderson (1982)), ya que su forma polinomial permite la existencia de máximos y mínimos locales.

---

<sup>1</sup> Función de precio ofertado

## **Omisión de variables**

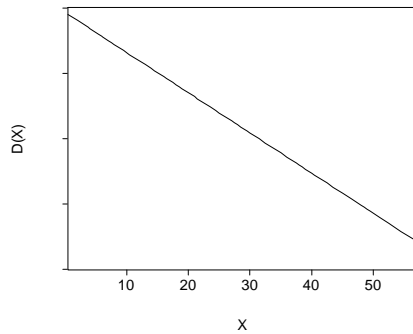
El mecanismo que determina realmente los niveles de densidad residencial es más complejo que el recogido por la función exponencial. Debiera por tanto utilizarse una función que incorporara otros factores además de la distancia al centro. Muth (1969), Mills (1973), Johnson y Kau (1980) y Alperovich (1983) entre otros, han propuesto un modelo multivariante donde los parámetros a estimar,  $D_0$  y  $\gamma$ , dependen a su vez de otras variables de carácter geográfico, demográfico y socio-económico como son la renta, la población, los costes de transporte o la superficie total.

Más allá de las críticas que han sido vertidas sobre el Modelo Monocéntrico, cuenta en su haber: 1) el saber predecir razonablemente bien el comportamiento de la densidad, 2) representar la forma urbana a partir de un instrumental de naturaleza microeconómica y 3) medir el ritmo de crecimiento y reestructuración interna en función de la variación de los parámetros estimados.

**Cuadro 1.  
Funciones de densidad residencial**

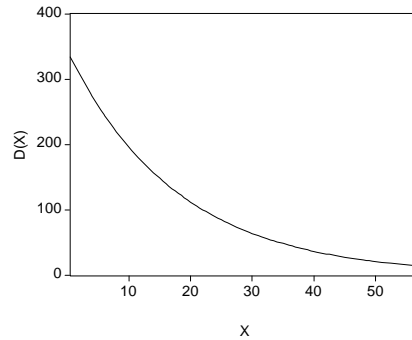
**LINEAL**

$$D(X) = \alpha + \beta X + U_i$$



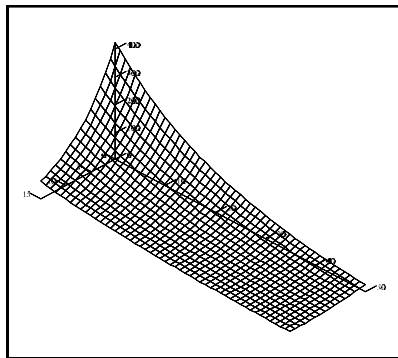
**EXPONENCIAL(I)**

$$D(X) = D_0 e^{-\gamma_1 X} + U_i$$



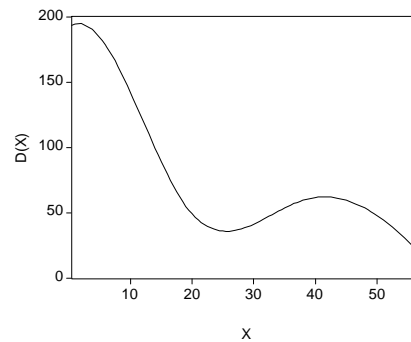
**EXPONENCIAL (II)**

$$D(X) = D_0 e^{-\gamma_1 X - \gamma_2 E} + U_i$$



**CUBIC-SPLINE**

$$D(X) = a + b \cdot X + c \cdot X^2 + d \cdot X^3 + \sum_{i=1}^{n-1} (d_i + 1 - d_i) \cdot (X - X_i)^3 \cdot Y_i + u_i$$



X : distancia al centro (km).

E : distancia al eje (km).

D(x) : densidad a una distancia X (hab/ha).

D<sub>0</sub> : densidad en el centro, a una distancia X = 0 (hab/ha).

γ : gradiente de densidad.

Y<sub>i</sub> : variable ficticia igual a 1 si X > X<sub>i</sub>, igual a 0 en otro caso

## 2. LA REGIÓN METROPOLITANA DE BARCELONA

### El modelo de crecimiento de la Barcelona Metropolitana

*1959-1975: Desarrollismo y ciudades dormitorio*

Después de cerca de veinte años de aislamiento, el régimen franquista puso en marcha un Plan de Estabilización que permitiría un periodo de fuerte crecimiento económico. Catalunya continuaba siendo el principal motor industrial de la península y los flujos migratorios sur-norte se intensificaron considerablemente. En este marco expansivo, los límites administrativos del municipio central ya no pudieron dar cabida a una población en aumento, de modo que las familias llegadas del sur de España empezaron a ocupar los márgenes norte y sur de la ciudad, dejando los ejes interiores como ensanche para las familias con mayores ingresos.

Los fenómenos de invasión y barraquismo dieron paso a la construcción de barrios residenciales urbanizados mediante polígonos de vivienda masiva sin los servicios mínimos necesarios. Fueron estos años de intensa especulación, crecimiento económico y *boom* migratorio, los que permitieron la creación de una primera corona metropolitana extremadamente densa<sup>2</sup>. En quince años la población de la Barcelona metropolitana había crecido en cerca de un millón de personas (1.7 millones en 1960 y 2.5 millones en 1975) y ocupaba un radio de aproximadamente 10 kilómetros.

---

<sup>2</sup> Entre los años 1960 y 1975 la población de Barcelona creció a una tasa media acumulativa del 0.8 % y el parque de viviendas aumentó en más de un 60 % (pasó de 330.000 a cerca de 580.000), mientras que la población de los municipios de su entorno crecía a una tasa media del 6.2 % y su parque de viviendas se multiplicaba por más de tres (pasó de 57.000 a cerca de 200.000) (Cabré y Módenes (1997) y Trilla (1997)).

El Plan comarcal de 1953 intentó ordenar un crecimiento considerablemente superior al previsto por los expertos. Veinte años más tarde, el Plan General Metropolitano (1974-1976) pretendió corregir los defectos del Plan Comarcal, pero su ámbito de planeamiento, el mismo del plan anterior, ya no era el apropiado. La ciudad real había crecido y mucho.

### *1975-1985: Crisis y crecimiento disperso*

El final de la dictadura y una prolongada crisis económica marcaron este periodo de fuertes cambios en todos los niveles de la sociedad española. El área de Barcelona sufrió con especial intensidad los efectos de la crisis debido a su especialización industrial (Trullén et al (1989)).

El paro masivo desalentó los flujos migratorios. a partir de ese momento cambiaría el modelo de crecimiento de Barcelona. Si la etapa anterior se caracterizó por un intenso crecimiento demográfico asociado a los procesos migratorios intraregionales y una expansión relativamente compacta de la ciudad real (el municipio de Barcelona y su primera corona metropolitana), en el futuro la región metropolitana crecerá integrando en su radio de acción a municipios que en el pasado se habían desarrollado de forma autónoma.

Siguiendo los criterios usuales para la delimitación de áreas metropolitanas, a partir de principios de los ochenta se experimenta un fuerte proceso de integración de municipios de la segunda corona y de los corredores metropolitanos. Esta dinámica se gesta durante los años de crisis al intensificarse el fenómeno de las segundas residencias en algunos municipios cuyo planeamiento permitió la



ocupación dispersa de gran parte del espacio metropolitano mediante asentamientos de baja densidad<sup>3</sup>.

La aplicación de estos criterios indica que en 1985 la Región Metropolitana de Barcelona integraba 94 municipios y 3.7 millones de habitantes en un radio de aproximadamente treinta kilómetros (Clusa y Roca-Cladera<sup>4</sup> (1997)).

#### *1985-2000: Polinucleación y transversalización*

Cuatro son los hechos más destacables de este último periodo. En primer lugar, muchas de las segundas residencias pasan a utilizarse como primera, incrementándose con ello la distancia media de los viajes residencia-trabajo y por lo tanto aumentando el grado de integración metropolitana de los municipios más alejados del centro de la región.

En segundo lugar, a partir de principios de los años ochenta, las capitales de comarca, municipios de tamaño mediano que se habían desarrollado en el pasado de forma endógena concentrando población y actividad en tejidos urbanos densos, entran también en el radio de acción residencia-trabajo del área central. El sistema urbano metropolitano pasa a tener una estructura policéntrica.

En tercer lugar, la descentralización ya no afecta tan sólo a las familias con rentas elevadas de Barcelona, sino que se extiende entre las capas de población con ingresos medios del municipio de

---

<sup>3</sup> La tasa de crecimiento demográfico anual acumulativa entre 1970 y 1980 fue un 0.7 en Barcelona, un 31 % en la primera corona (se ocupan los espacios intersticiales) y un 40 % en la segunda. Durante este mismo periodo el parque de viviendas creció un 24 % en Barcelona y un 51 % en la primera corona, mientras que en la segunda corona el incremento fue de un 72 % (una parte relevante era declarada como segunda residencia) (Cabré y Módenes (1997) y Trilla (1997)).

Barcelona, su primera corona y los subcentros metropolitanos. El modelo de ocupación del suelo característico de este periodo ha sido definido por Font et al (2000) como un crecimiento “por paquetes”, es decir, mediante operaciones aisladas, relativamente densas y estratégicamente localizadas en los ejes de transporte por carretera.

Finalmente, el radio de acción de Barcelona se ha extendido más allá de los subcentros afectando también a los municipios pequeños y rurales de los corredores metropolitanos (Clusa y Roca-Cladera (1997)).

### **La estructura espacial de la Región Metropolitana de Barcelona**

La Región Metropolitana de Barcelona es una conurbación estructurada sobre un gran centro, una primera corona metropolitana extremadamente densa, discontinuidades en forma de parques metropolitanos y espacios protegidos, siete subcentros tradicionales o de reciente desarrollo y una extensa área que combina los usos rurales con los residenciales de baja densidad.

---

<sup>4</sup> En este trabajo se utilizan la metodología censal norteamericana para la definición de áreas metropolitanas estadísticas.

**Cuadro 2.**  
**Estructura urbana de la RMB**

<b>ÁMBITO METROPOLITANO</b>	<b>NÚMERO DE MUNICIPIOS</b>	<b>DISTANCIA MEDIA AL CENTRO (PLAZA CATALUNYA) EN KM.</b>	<b>POBLACIÓN MEDIA POR MUNICIPIO</b>
<b>Barcelona</b>	1	2,5	1,6 millones
<b>Primera corona</b>	10	12,2	88.230
<b>Segunda corona</b>	23	20,3	23.289
<b>Subcentros</b>	7	38,1	85.283
<b>Área de influencia de los subcentros</b>	20	41,3	5.391
<b>Corredores metropolitanos</b>	101	41,2	5.830

Cada subcentro, su área de influencia y corredor metropolitano correspondiente (ámbitos definidos según el grado de apertura de sus mercados de trabajo), conforma una comarca, 6 en total, ya que la comarca del Vallès Occidental incorpora dos subcentros (Terrassa y Sabadell).

La red de transporte por ferrocarril es radial. Todos los subcentros están conectados con el centro a través de diferentes líneas. El trazado de autopistas metropolitanas posterior ha reforzado la accesibilidad de los ejes ferroviarios mediante un trazado casi paralelo, si bien es cierto que se ha complementado mediante la construcción de ejes transversales.

Se trata por tanto de una ciudad compleja, diversa, discontinua, policéntrica y también en parte dispersa. Una ciudad compuesta por más de 160 municipios que ocupa cerca de 4000 Km<sup>2</sup> en un radio de aproximadamente 45 km.

### 3. FUNCIONES DE DENSIDAD RESIDENCIAL

#### Los datos

Los datos sobre suelo residencial urbano consolidado necesarios para el cálculo de la densidad residencial neta provienen del “Mapa de Usos del Suelo” de la RMB (1992). Uno de los problemas que supone trabajar con datos municipales<sup>5</sup> es que el municipio de Barcelona, una sola observación, es extremadamente grande en comparación con el resto, así que hemos decidido desagregarla en cada uno de sus diez distritos. La variable “distancia al eje” (e) ha sido definida como la distancia más corta entre el centro del municipio y el eje ferroviario. Finalmente, las variables socioeconómicas provienen de la base de datos PIM<sup>6</sup>.

#### La función de densidad residencial neta

Los parámetros de las funciones estimadas<sup>7</sup> para cada eje (seis en total) y el conjunto de la región aparecen en el **Cuadro 3** y su representación gráfica en el **gráfico 1**. Los resultados correspondientes al total de la RMB (primera columna) indican que la función que presenta un mejor ajuste es la exponencial ampliada (con efecto eje). Sin embargo, las estimaciones efectuadas para cada uno de los ejes no arrojan conclusiones tan claras ya que en algunos casos la función *cubic-spline* parece tener una capacidad explicativa mejor que la exponencial estándar y ampliada (en cuatro de los seis ejes presenta el menor error estándar y otra combinación diferente

---

<sup>5</sup> A diferencia de las bases de datos donde se toman como referencia “tracts” de población similar, en nuestro caso la superficie es similar pero las variaciones de población son muy relevantes.

<sup>6</sup> Base de datos municipal del Pacte Industrial Metropolità de la Regió Metropolitana de Barcelona

<sup>7</sup> Mediante M.C.O. y M.C. no lineales según proceda.

de cuatro ejes ofrece los mejores resultados en cuanto al valor de la  $R^2$ ).

Para la construcción de la función *cubic-spline* (ecuación (2)) debe dividirse la distancia de cada eje en un número  $n$  (3, 4, 5, etc.) de segmentos iguales ( $x_i$ ), escogiendo finalmente aquel número de cortes que permita obtener un menor error estándar y una mayor significatividad de los parámetros estimados<sup>8</sup>.

$$D(X) = a + b \cdot X + c \cdot X^2 + d \cdot X^3 + \sum_{i=1}^{n-1} (d_{i+1} - d_i) \cdot (X - X_i)^3 \cdot Y_i + u_i \quad (2)$$

Comparando los resultados de las funciones exponencial estándar y ampliada que aparecen en el **cuadro 3**, observamos que al incorporar la distancia al eje como regresor se reduce el valor y la significatividad del gradiente asociado a la distancia al centro. Por otro lado, tal como destacó Steen (1986), el valor del gradiente de la distancia al eje es mayor que el de la distancia al centro, confirmando que las pérdidas de accesibilidad son mayores al alejarnos del eje que del centro. El gradiente de la distancia al eje es en términos medios más de tres veces superior al gradiente de la distancia al centro. En los ejes donde es menor no resulta significativo.

---

<sup>8</sup> Ver Zheng (1991).

**Cuadro 3.**  
**Funciones de densidad residencial neta RMB (1996)**

<b>FUNCIÓN DE DENSIDAD</b>		<b>TOTAL RMB</b>	<b>MATARÓ</b>	<b>GRANOLLERS</b>	<b>TERRASSA-SABADELL</b>	<b>MARTORELL</b>	<b>VILAFRANCA</b>	<b>VILANOVA</b>
<b>LINEAL</b>	Constante	<b>293.28 *</b> (20.93)	<b>285.93 *</b> (8.79)	<b>341.87 *</b> (12.68)	<b>354.06 *</b> (9.62)	<b>388.01 *</b> (10.05)	<b>341.41 *</b> (11.69)	<b>258.12 *</b> (6.31)
	Coeficiente	<b>-6.15 *</b> (-13.6)	<b>-5.25 *</b> (-5.22)	<b>-8.11 *</b> (-9.07)	<b>-9.21 *</b> (-5.31)	<b>-9.72 *</b> (-4.94)	<b>-7.264 *</b> (-8.97)	<b>-5.046 *</b> (-3.45)
	R <sup>2</sup>	0.52	0.45	0.63	0.54	0.5	0.68	0.47
	S.E.	<b>80.23</b>	<b>94.74</b>	<b>83.47</b>	<b>90.9</b>	<b>93.9</b>	<b>77.98</b>	<b>81.28</b>
<b>EXPONENCIAL (I)</b>	D <sub>0</sub>	<b>411.86 *</b> (15.42)	<b>411.92 *</b> (7.57)	<b>481.04 *</b> (10.96)	<b>394.45 *</b> (7.69)	<b>433.46 *</b> (8.04)	<b>459.7 *</b> (10.92)	<b>276.67 *</b> (4.83)
	γ <sub>1</sub>	<b>-0.0518 *</b> (12.78)	<b>-0.0496 *</b> (5.52)	<b>-0.063 *</b> (8.71)	<b>-0.0472 *</b> (4.68)	<b>-0.0438 *</b> (4.63)	<b>-0.0573 *</b> (8.1)	<b>-0.0331 *</b> (2.7)
	R <sup>2</sup>	0.57	0.56	0.7	0.52	0.51	0.75	0.44
	S.E.	<b>75.83</b>	<b>84.19</b>	<b>74.72</b>	<b>92.08</b>	<b>93.31</b>	<b>69.12</b>	<b>84.02</b>
<b>EXPONENCIAL(II)</b>	D <sub>0</sub>	<b>394.55 *</b> (17.05)	<b>420.96 *</b> (10.5)	<b>461.4 *</b> (12.37)	<b>387.2 *</b> (7.28)	<b>432.14 *</b> (7.81)	<b>446.16 *</b> (10.83)	<b>277 *</b> (5.94)
	γ <sub>1</sub>	<b>-0.0398 *</b> (10.47)	<b>-0.0354 *</b> (5.94)	<b>-0.0468 *</b> (6.87)	<b>-0.0436 *</b> (3.64)	<b>-0.0429 *</b> (4.09)	<b>-0.049 *</b> (6.07)	<b>-0.0226</b> (2.32)
	γ <sub>2</sub>	<b>-0.1570 *</b> (4.66)	<b>-0.2305 *</b> (3.32)	<b>-0.2525 *</b> (2.86)	<b>-0.0283</b> (0.48)	<b>-0.0137</b> (0.2)	<b>-0.1153</b> (1.35)	<b>-0.1651</b> (1.51)
	R <sup>2</sup>	0.65	0.73	0.77	0.53	0.51	0.76	0.62
	S.E.	<b>69.22</b>	<b>67.47</b>	<b>66.17</b>	<b>93.45</b>	<b>95.23</b>	<b>67.71</b>	<b>71.83</b>
<b>CUBIC-SPLINE</b>	No. segmentos	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
	R <sup>2</sup>	0.57	0.67	0.72	0.65	0.61	0.8	0.75
	S.E.	<b>75.71</b>	<b>80.72</b>	<b>75.64</b>	<b>88.08</b>	<b>95.34</b>	<b>66.48</b>	<b>76.21</b>
	No. OBS.	<b>172</b>	<b>35</b>	<b>50</b>	<b>26</b>	<b>26</b>	<b>39</b>	<b>15</b>

Estadístico "t" entre paréntesis.

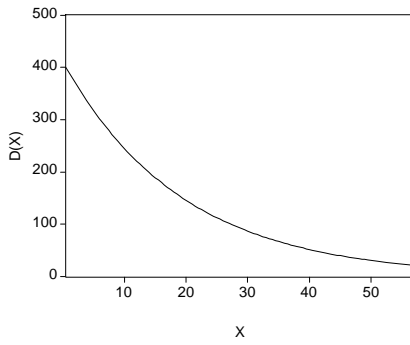
(\*) variable significativa.

S.E. : error estándar de la regresión.

R<sup>2</sup> : coeficiente de determinación.

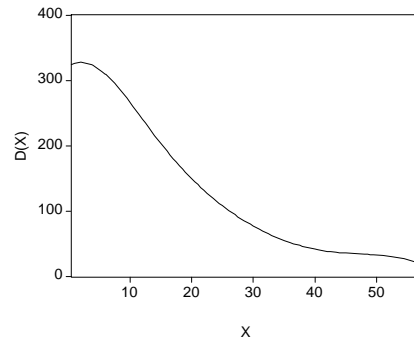
**Gráfico 1.a.**  
**Funciones de densidad neta. Total RMB.**

**EXPONENCIAL (I)**

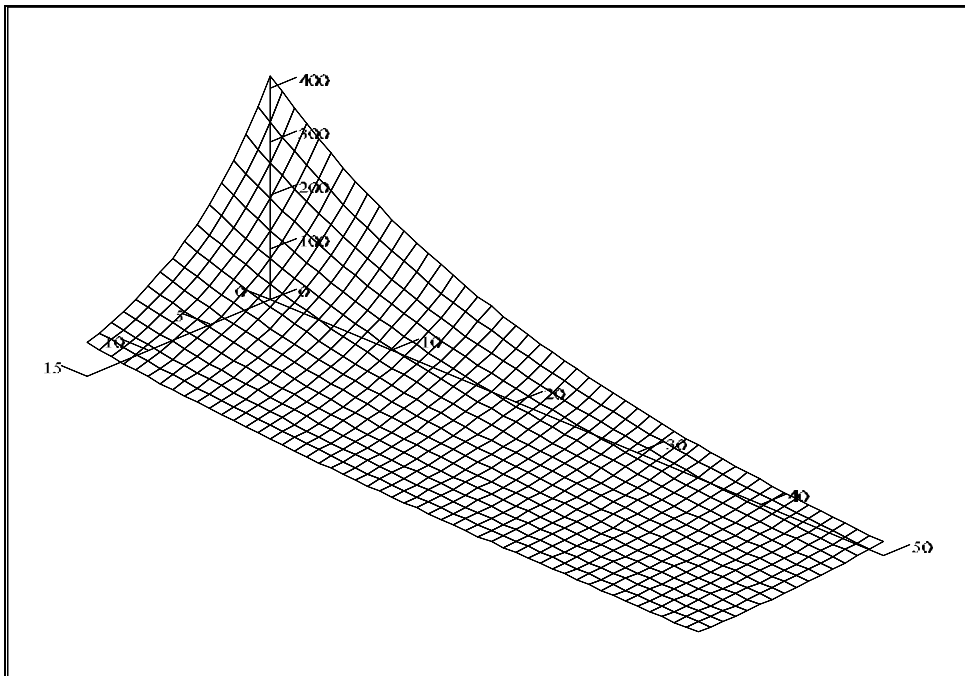


gradiente: -0.0518

**CUBIC-SPLINE**



**EXPONENCIAL (II)**

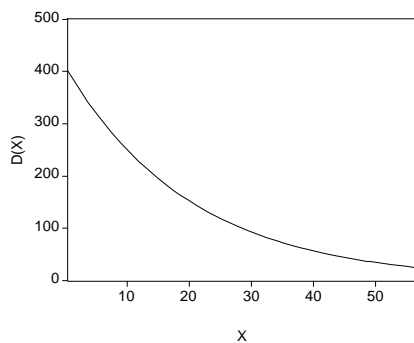


gradiente dist. centro: -0.0398

gradiente dist. eje: -0.1570

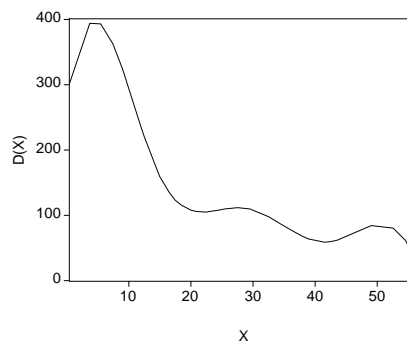
**Gráfico 1.b.**  
**Funciones de densidad neta. Eje Mataró.**

**EXPONENCIAL (I)**



gradiente: -0.0496

**CUBIC-SPLINE**



**¿Ha sido homogéneo el proceso de suburbanización?**

Los resultados correspondientes a la función exponencial estándar y ampliada que aparecían en la primera columna del **cuadro 3** incorporaban implícitamente la hipótesis de que los parámetros estimados,  $D_0$  y  $\gamma_1$  en el caso de la función exponencial estándar y  $D_0$ ,  $\gamma_1$  y  $\gamma_2$  en el de la ampliada, son los mismos para cada eje. Permitiendo su variabilidad podríamos mejorar la capacidad de ajuste del modelo.

Las funciones exponenciales estándar y ampliada han sido estimadas de nuevo en su forma linealizada<sup>9</sup> (ecuaciones (3) y (4)) teniendo en cuenta además la posible presencia de heterocedasticidad como consecuencia de estar trabajando con datos de corte transversal<sup>10</sup>.

<sup>9</sup> Las funciones exponenciales (I) y (II) que aparecen en el **cuadro 3** han sido estimadas sin linealizar ya que para seleccionar funciones es necesario que los residuos sean comparables.

<sup>10</sup> A pesar de no corregir la presencia de heterocedasticidad, el método de White permite obtener una matriz de varianzas y covarianzas de los estimadores consistente.



Las estimaciones de las ecuaciones (3) y (4) se presentan en las dos primeras columnas del **cuadro 4**.

$$\ln D(x) = \ln D_0 - \gamma_1 x \quad (3)$$

$$\ln D(x) = \ln D_0 - \gamma_1 x - \gamma_2 e \quad (4)$$

Comparando los resultados obtenidos con los que aparecen en la primera columna del **cuadro 3** correspondientes a la función exponencial ampliada, se observa una reducción en la diferencia entre el valor del gradiente de la distancia al centro y de la distancia al eje. Linealizando y aplicando el método de White, el gradiente de la distancia al eje estimado pasa a ser aproximadamente el doble que el de la distancia al centro.

Los gradientes estimados manteniendo un estimador común para el  $\ln D_0$  aparecen en las columnas 3 y 4. Los valores son estadísticamente diferentes y en el caso de la función exponencial estándar son todos significativos, lo cual indica que cada eje presenta diferentes grados de suburbanización.

Los gradientes estimados en la función exponencial con distancia al eje presentan el signo esperado y el ajuste de la regresión ha mejorado, aunque para tres de los ejes, Terrassa-Sabadell, Martorell y Vilafranca, la distancia al eje no parece determinar los niveles de densidad residencial.

Para comprobar que resulta más adecuado permitir la variabilidad de los gradientes se ha llevado a cabo un contraste de hipótesis mediante el test de la razón de verosimilitud tomando como hipótesis nula la existencia de gradientes comunes. En el caso de la función exponencial estándar, el modelo restringido es el estimado en la primera columna y el modelo bajo la hipótesis alternativa es el

estimado en la tercera columna del **cuadro 4**, mientras que en el de la función exponencial ampliada se ha procedido del mismo modo tomando como referencia la segunda y cuarta columna.

El estadístico de la exponencial estándar es 55.06, un valor superior al de una  $\chi^2$  con 5 grados de libertad al 0.95 (11.0704), con lo que rechazamos la hipótesis nula. El estadístico asociado a la función exponencial con distancia al eje es -77.24, superior al valor tabulado, 18.307 ( $\chi^2$  con 10 grados de libertad al 0.95), de modo que al igual que en el caso anterior, rechazamos la hipótesis de existencia de gradientes comunes para todos los ejes.

**Cuadro 4.****Estimaciones de la función exponencial estándar y ampliada.**

<b>COEFICIENTES</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>
<b>Ln D<sub>0</sub></b>	6.1016* (62.83)	6.0493* (70.26)	6.058* (54.13)	6.0922* (67.61)
$\gamma_1$	-0.0663* (-15.28)	-0.0526* (12.72)	-	-
$\gamma_2$	-	-0.1224* (-5.01)	-	-
$\gamma_1$ <b>Mataró</b>	-	-	-0.0514* (-10.39)	-0.0418* (-9.39)
$\gamma_1$ <b>Granollers</b>	-	-	-0.0771* (-12.06)	-0.0603* (-7.26)
$\gamma_1$ <b>Terrassa-Sabadell</b>	-	-	-0.0649* (-8.05)	-0.0603* (-8.09)
$\gamma_1$ <b>Martorell</b>	-	-	-0.0497* (-8.07)	-0.0492* (-7.5)
$\gamma_1$ <b>Vilafranca</b>	-	-	-0.0692* (-16.66)	-0.0624* (-10.44)
$\gamma_1$ <b>Vilanova</b>	-	-	-0.0585* (-7.65)	-0.0456* (-9.57)
$\gamma_2$ <b>Mataró</b>	-	-	-	-0.2251* (-6.62)
$\gamma_2$ <b>Granollers</b>	-	-	-	-0.1602* (-2.15)
$\gamma_2$ <b>Terrassa-Sabadell</b>	-	-	-	-0.039 (-0.79)
$\gamma_2$ <b>Martorell</b>	-	-	-	-0.0184 (-0.302)
$\gamma_2$ <b>Vilafranca</b>	-	-	-	-0.059 (-1.77)
$\gamma_2$ <b>Vilanova</b>	-	-	-	-0.175* (-4.61)
<b>R<sup>2</sup></b>	0.60	0.69	0.66	0.75
<b>S.E.</b>	0.788	0.69	0.737	0.64
<b>Log-likelihood</b>	-69.20	-31.02	-41.67	7.6
<b>No. Observaciones</b>	172	172	172	172

Estadístico "t" robusto entre paréntesis.

(\*) variable significativa.

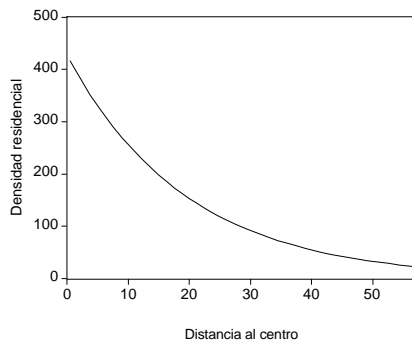
S.E. : error estándar de la regresión.

R<sup>2</sup> : coeficiente de determinación.

Log-likelihood : logaritmo de la función de Máxima Verosimilitud.

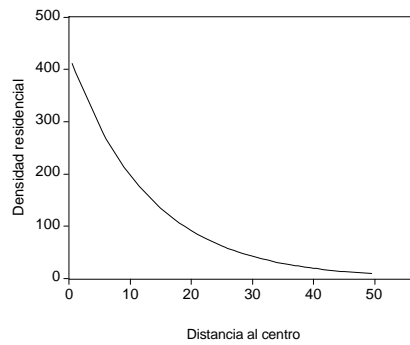
### Gráfico 2.

#### Mataró



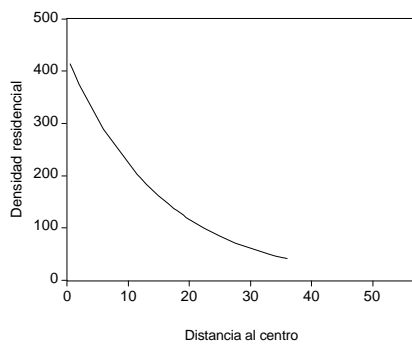
gradiente: -0.0514

#### Granollers



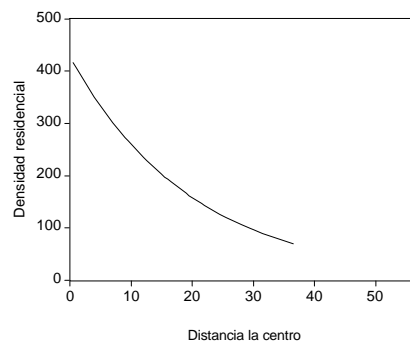
gradiente: -0.0771

#### Terrassa-Sabadell



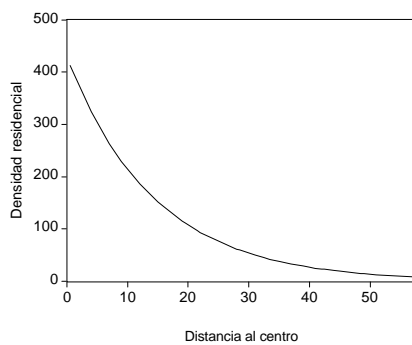
gradiente: -0.0649

#### Martorell



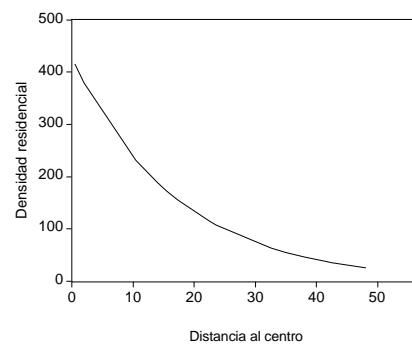
gradiente: -0.0497

#### Vilafranca



gradiente: -0.0692

#### Vilanova



gradiente: -0.0585

Centrándonos en el caso de la función exponencial estándar, los resultados indican que el gradiente de la distancia al centro es estadísticamente distinto en cada eje, siendo los ejes de Mataró, Vilanova y Martorell los más suburbanizados. El carácter costero de dos de estos ejes (Mataró y Vilanova) no es casual ya que las líneas de ferrocarril son más antiguas<sup>11</sup> y el trazado de carreteras y autopistas posterior reforzó la conectividad de los mismos municipios por los que pasaba el tren. Esta explicación resulta además consecuente con el análisis de los gradientes asociados a la distancia al eje. En los ejes de Vilanova y Mataró es mayor tanto el valor del parámetro como su significatividad.

Otra de las razones que explica la mayor suburbanización de estos ejes es la relativa escasez de espacio disponible con una pendiente inferior al 5%. La presencia de sistemas montañosos litorales a escasos kilómetros de la costa constriñe las posibilidades efectivas de expansión, de modo que tiende a construirse ahorrando suelo, es decir, mediante densidades relativamente elevadas en la periferia.

A pesar de que las diferencias estimadas son significativas, el proceso de suburbanización de Barcelona ha sido relativamente homogéneo en todos sus ejes de expansión tal como puede apreciarse en el **gráfico 2**.

---

<sup>11</sup> La mayor antigüedad de las líneas costeras está probablemente condicionada por los menores costes (menos accidentes geográficos) y mayor necesidad de conectividad por razones de eficiencia productiva.

## Los determinantes del gradiente y de $D_0$ : estimación VCM<sup>12</sup> para una sola ciudad.

Siguiendo con el análisis del gradiente de la función exponencial, intentaremos a continuación determinar los factores estructurales que se esconden tras los coeficientes estimados mediante una estrategia de contrastación basada en los trabajos de Muth (1969), Johnson-Kau (1980) y Alperovich (1983) (VCM para una sola ciudad). El procedimiento consiste en hacer depender los parámetros  $D_0$  y  $\gamma$  que aparecen en la ecuación (3) de diferentes variables socioeconómicas municipales. En este ejercicio hemos escogido la renta familiar media (R), la población (POB), el porcentaje de desplazamientos en transporte público (TP) y la superficie (AREA).

$$D_0 = F (POB_i, R_i, AREA_i, TP_i,) \quad (5)$$

$$\gamma = F (POB_i, R_i, AREA_i, TP_i) \quad (6)$$

Suponiendo que las funciones (5) y (6) son lineales

$$D_0 = a_0 + a_1POB_i + a_2 R_i + a_3 AREA_i + a_4TP_i \quad (7)$$

$$\gamma = b_0 + b_1POB_i + b_2 R_i + b_3 AREA_i + b_4TP_i \quad (8)$$

Substituyendo las ecuaciones (7) y (8) en la ecuación (3) obtenemos la ecuación fundamental:

$$\ln D(x) = \ln (a_0 + a_1POB_i + a_2R_i + a_3AREA_i + a_4TP_i ) - (b_0X_i + b_1POB_i \cdot X_i + b_2R_i \cdot X_i + b_3AREA_i \cdot X_i + b_4TP_i \cdot X_i ) \quad (9)$$

<sup>12</sup> *Varying Parameter Density Gradient Model*. Ver Kau y Lee (1976), Lahiri y Numrich (1983) y Johnson y Kau (1980) entre otros.

### *Los signos esperados*

(R): La renta media familiar debiera tener un impacto negativo sobre la densidad teórica del centro. Cuanto mayor sea la renta media de un eje, menor es el nivel de congestión esperado en el centro de la ciudad. Esta interpretación resulta consistente tanto con la teoría de filtro urbano como con la teoría sobre externalidades.

Lo que ya no resulta tan claro a la luz de los trabajos donde se ha aplicado el método VCM para una sola ciudad es el impacto de la renta sobre el gradiente. El parámetro de la renta estimado tanto puede tener un signo positivo como negativo. El argumento que suele utilizarse para explicar un efecto negativo sobre el gradiente (mayor suburbanización) es que al aumentar la renta aumenta también la demanda de espacio, con lo que la localización de equilibrio se aleja del centro a pesar de que los costes de transporte sean superiores (monetarios y de oportunidad). Inversamente, un impacto positivo sobre el gradiente (menor suburbanización-mayor pendiente) puede explicarse en función de unos costes de transporte que sobrepasan los beneficios de una localización menos densa y más alejada, o bien debido a una marcada preferencia por la centralidad asociada a los servicios de todo tipo que se ofrecen en el centro de la ciudad.

Los argumentos expuestos anteriormente combinados con las características de la RMB, una ciudad europea donde la centralidad se valora, nos llevarían a esperar una relación positiva entre gradiente y renta. Sin embargo, debe tenerse en cuenta que se trata de una conurbación que aún está en proceso de formación. Algunas zonas rurales periféricas con bajas densidades residenciales y rentas medias, están experimentando un fuerte proceso de integración asociado a las migraciones metropolitanas provenientes del centro, primera corona y subcentros, los ámbitos más congestionados. Los

municipios que demuestran una mayor capacidad de atracción son los que experimentan un crecimiento más marcado de los niveles de densidad y renta, un incremento directamente asociado al cambio de una economía rural a urbana. Todo ello conduce a que la relación entre renta y densidad sea positiva en los municipios más periféricos y por lo tanto que el efecto esperado de la renta sobre el gradiente sea negativo a pesar de que la centralidad siga siendo un factor apreciado por las familias con mayor capacidad económica.

(*AREA*): Si una mayor superficie se aprovecha para urbanizar el espacio disponible mediante tejidos dispersos, tendrá un efecto positivo sobre el gradiente y negativo sobre la densidad central teórica.

(*POB*): La población debiera tener un efecto negativo sobre el valor del gradiente. Cuanto mayor sea la población, mayor es la necesidad de urbanizar el espacio disponible mediante tejidos urbanos densos también en la periferia. El efecto esperado sobre la densidad del centro es positivo.

(*TP*): El porcentaje de desplazamientos en transporte público debiera ejercer un efecto negativo sobre el gradiente. La densidad residencial tiende a aumentar con la accesibilidad y un elevado porcentaje de desplazamientos en T. Público es indicativo de un buen nivel de accesibilidad. Además, el TP puede interpretarse como una proxy de transporte económico (Muth (1969)), uno de los factores que facilita la suburbanización. Sin embargo, un porcentaje elevado de desplazamientos en transporte público también puede ser indicativo de que no existe una oferta eficiente de carreteras y autopistas que permita un mayor nivel de suburbanización. En tal caso, el impacto sería positivo. Finalmente, el impacto esperado sobre la densidad



central es negativo en caso de que prevalezca el primer efecto sobre el segundo.

### *Las ecuaciones*

Para el análisis de los determinantes de los gradientes se han utilizado diferentes especificaciones. Tomando como partida el modelo completo de Johnson-Kau<sup>13</sup>, en la columna (A) del **cuadro 5** aparecen los resultados de la ecuación (10). La ecuación (10) se diferencia de la (9) en que los determinantes del logaritmo de la densidad central no vienen expresados en logaritmos.

$$\ln D_0 = a_0 + a_1 \text{POB}_i + a_2 R_i + a_3 \text{AREA}_i + a_4 \text{TP}_i \quad (10)$$

Por lo tanto,  $\ln D(x)$  pasa a ser:

$$\begin{aligned} \ln D(X) = & a_0 + a_1 \text{POB}_i + a_2 R_i + a_3 \text{AREA}_i + a_4 \text{TP}_i \\ & - (b_0 X_i + b_1 \text{POB}_i \cdot X_i + b_2 R_i \cdot X_i + b_3 \text{AREA}_i \cdot X_i + b_4 \text{TP}_i \cdot X_i) \end{aligned} \quad (11)$$

En el modelo estimado en la columna (B) se ha prescindido de las variables asociadas a la densidad central teórica. Esta especificación suele utilizarse debido a dos razones. En primer lugar, en la mayoría de trabajos aplicados a una sola ciudad las variables explicativas de la densidad central no suelen resultar significativas. En segundo lugar, aunque la densidad central teórica para diferentes ejes pueda diferir, la real no.

---

<sup>13</sup> Aunque sin elevar los determinantes al cuadrado

En la columna (C) aparecen los resultados correspondientes a una especificación basada en el método utilizado por Alperovich (1983) donde se toma como referencia un valor igual a 6.058 para  $\ln D_0$ , el coeficiente estimado que aparece en la tercera columna del **cuadro 4**<sup>14</sup>. En la cuarta y quinta columna (A1 y B1) aparecen los resultados de las especificaciones A y B añadiendo como regresores adicionales el cuadrado de los determinantes del gradiente. En la sexta y última columna (A2) se elimina el cuadrado de la renta de la especificación (A1) como regresor.

### *Los resultados*

El análisis de los resultados correspondientes a las tres primeras columnas del **cuadro 5** no permite esclarecer cual de las especificaciones resulta más eficiente. Si bien la  $R^2$  mejora al incluir como regresores los determinantes de la densidad central teórica (columna A), la significatividad de los parámetros asociados al gradiente se resiente y los coeficientes determinantes del  $\ln D_0$  no resultan significativos. Por otro lado, el signo de los parámetros del gradiente cambia en algunos casos dependiendo de la especificación utilizada. Tan sólo en la ecuación (A) los signos obtenidos de los determinantes del gradiente coinciden con los esperados.

Tomando como referencia las especificaciones (A) y (B) se ha contrastado la posible presencia de óptimos locales. Al incluir como regresores adicionales del gradiente el cuadrado de las variables, podemos mejorar además la significatividad de los parámetros y la capacidad explicativa del modelo. Los resultados que aparecen en las columnas A1 y B1 indican una mejora sustancial. Excepto en el caso

---

<sup>14</sup> El hecho de estar trabajando con una sola región urbana ha imposibilitado estimar  $D_0$  a partir de la ecuación (7) tal como propone Alperovich (1983). Su procedimiento consiste en estimar en primer lugar  $D_0$  para diferentes regiones urbanas y posteriormente introducir el

de la renta, todas las variables determinantes del gradiente pasan a ser significativas. Por otro lado, parece que el modelo mejora al incluir como regresores los determinantes de la densidad central teórica ya que en la especificación A1 dos de ellos (la población y la renta) resultan significativos.

Siguiendo con la especificación A1, ni la renta ni el cuadrado de la renta son significativas, de manera que se ha propuesto una nueva ecuación donde desaparece el cuadrado de la renta como regresor (A2). Los resultados indican que la significatividad de los parámetros y capacidad explicativa del modelo prácticamente no se resienten y en cambio la renta pasa a ser una variable significativa y presentar el signo esperado.

---

valor estimado en vez de los determinantes de  $D_0$  en la ecuación (9). Esta misma limitación ha impedido aplicar el método bietápico utilizado por Muth (1969).

**Cuadro 5.**  
**Estimación de los determinantes de  $D_0$  y  $\gamma$**

VARIABLES	(A)	(B)	(C)	(A1)	(B1)	(A2)
Constante	7.5822* (5.80)	5.5043* (27.7)	-	7.9188* (7.19)	5.4528* (29.72)	7.5282* (6.84)
POB	$-2.59 \times 10^{-6}$ (-0.49)	-	-	$1.04 \times 10^{-5}$ * (2.36)	-	$1.06 \times 10^{-5}$ * (2.36)
AREA	-0.0001 (-1.16)	-	-	0.0001 (0.83)	-	$8.7 \times 10^{-5}$ (0.67)
R	-0.0006 (-1.66)	-	-	-0.0008* (-2.53)	-	-0.0007* (-2.11)
TP	-0.2738 (-0.07)	-	-	-3.7392 (-1.28)	-	-3.8594 (-1.28)
X	0.1135* (2.53)	0.0464* (2.78)	0.0481* (2.64)	0.0790 (1.42)	0.0427 (0.78)	0.1364* (3.49)
POB · X	$-8.13 \times 10^{-7}$ * (-2.72)	$-6.66 \times 10^{-7}$ * (-4.41)	$-4.86 \times 10^{-7}$ * (-4.74)	$-1.57 \times 10^{-6}$ * (-6.17)	$-1.71 \times 10^{-6}$ * (-6.55)	$-1.55 \times 10^{-6}$ * (-5.93)
POB <sup>2</sup> · X	-	-	-	$1.03 \times 10^{-11}$ * (6.11)	$7.26 \times 10^{-12}$ * (4.17)	$1.01 \times 10^{-11}$ * (6.06)
AREA · X	$3.66 \times 10^{-7}$ (0.08)	$4.68 \times 10^{-6}$ * (2.60)	$3.92 \times 10^{-6}$ * (2.16)	$1.92 \times 10^{-5}$ * (3.71)	$1.47 \times 10^{-5}$ * (6.49)	$1.78 \times 10^{-5}$ * (3.35)
AREA <sup>2</sup> · X	-	-	-	$-1.74 \times 10^{-9}$ * (-4.67)	$-1.41 \times 10^{-9}$ * (-4.95)	$-1.64 \times 10^{-9}$ * (-4.12)
R · X	$-2.42 \times 10^{-5}$ (-1.52)	$-2.24 \times 10^{-6}$ (-0.33)	$2.93 \times 10^{-6}$ (0.42)	$1.83 \times 10^{-5}$ (0.50)	$1.69 \times 10^{-5}$ (0.41)	$-2.77 \times 10^{-5}$ * (-1.97)
R <sup>2</sup> · X	-	-	-	$-9.2 \times 10^{-9}$ (-1.51)	$-3.47 \times 10^{-9}$ (-0.48)	-
TP · X	-0.0003 (-0.003)	0.0192 (0.41)	0.0381 (0.83)	-0.4201* (-3.18)	-0.3354* (-2.53)	-0.4444* (-3.24)
TP <sup>2</sup> · X	-	-	-	0.8870* (2.25)	0.9557* (2.24)	0.9742* (2.48)
R <sup>2</sup>	0.61	0.58	0.56	0.72	0.68	0.71
Schwarz	2.60	2.55	2.58	2.38	2.41	2.37
Log likelihood	-194.21	-200.56	-205.93	-165.82	-178.44	-168.19
No. Obs.	172	172	172	172	172	172

Estadístico "t" robusto entre paréntesis.

(\*) variable significativa.

Schwarz: índice de Schwarz.

R<sup>2</sup>: coeficiente de determinación.

Log-likelihood: logaritmo de la función de Máxima Verosimilitud.

En la columna (A2) todos los determinantes del gradientes son significativos y presentan el signo esperado y tres de los cuatro determinantes del  $\ln D_0$  presentan el signo esperado, aunque sólo dos resultan significativos.

Se han hallado óptimos locales en el caso de la población, la superficie y el porcentaje de desplazamientos en transporte público<sup>15</sup>. Estimando el gradiente individual implícito ( $\gamma_i$ ) en función de las variables municipales y permitiendo a su vez (*ceteris paribus*) la variación de una sola de ellas, podemos calcular los óptimos locales<sup>16</sup>. Los resultados indican que la población ejerce un efecto negativo sobre el valor absoluto del gradiente<sup>17</sup>, pero que si la población de un municipio o distrito de Barcelona supera los 77.000 habitantes, el efecto se vuelve positivo. Algo parecido sucede con el transporte público. Su efecto negativo se agota cuando el porcentaje de desplazamientos supera el 23 %. Se trata además de la variable cuantitativamente más importante. Finalmente, la superficie municipal ejerce un efecto positivo sobre el gradiente que se agota cuando supera las 5.400 hectáreas.

En el caso de la población, la relación entre dicha variable y el gradiente implícito se vuelve positiva para los distritos de Barcelona (10 observaciones) y 8 municipios de la RMB, tres de los cuales son subcentros y los otros cinco se encuentran en la primera corona, lo cual indica que la densidad real es inferior a la esperada dado su nivel de población.

Para el caso de la superficie, su impacto sobre el gradiente implícito se vuelve negativo en cuatro municipios, de modo que la densidad real

---

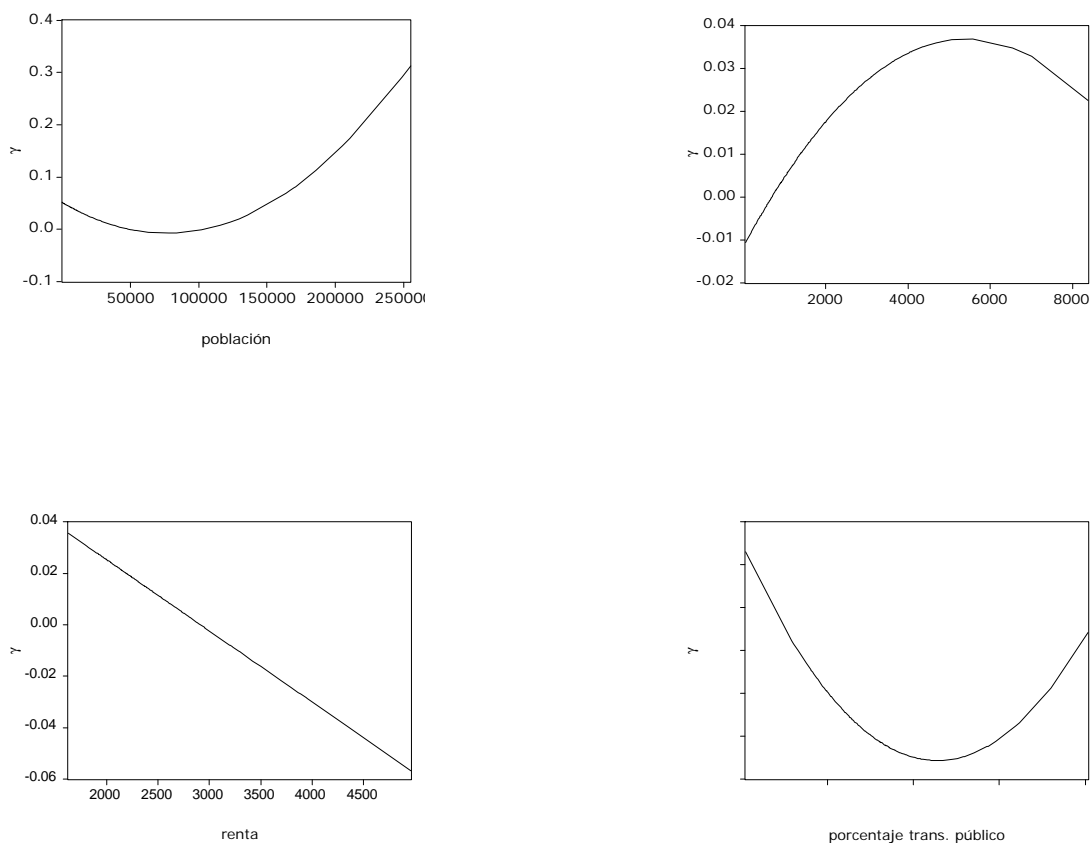
<sup>15</sup> En estos tres casos el cuadrado de la variable presenta el signo esperado (el contrario de la misma variable sin elevar al cuadrado) y resulta significativa.

<sup>16</sup> El resto de variables se evalúa según la media muestral.

es mayor a la esperada considerando el área total municipal. Ello se debe a que a pesar de tener una gran superficie, el espacio disponible finalmente para usos residenciales es limitado dada la presencia de zonas protegidas y montañosas.

Finalmente, los 10 distritos de Barcelona y 14 municipios de la RMB tienen una densidad residencial inferior a la esperada teniendo en cuenta su elevado porcentaje de desplazamientos en transporte público.

**Gráfico 3.**  
**Óptimos locales.**



<sup>17</sup> En el gráfico 3 el gradiente implícito que aparece en el eje vertical se expresa en valores absolutos  $|\gamma_i|$ .

## CONCLUSIONES

El policentrismo de la RMB, su expansión radial sobre unos ejes de transporte bien definidos y las particularidades socioeconómicas de los municipios que la componen, cuestionan la idoneidad de la función exponencial estándar como determinante de los niveles de densidad residencial. Los resultados indican que la función exponencial con distancia al eje o la *cubic-spline* resultan más adecuadas.

Dejando de lado la función *cubic-spline* debido a la difícil interpretación económica de los parámetros estimados, la estrategia que hemos seguido para mejorar la capacidad explicativa del modelo es doble. Por un lado, hemos incluido un gradiente adicional para la distancia al eje y permitido la variabilidad de los gradientes para ejes diferentes. Se trata en definitiva de particularizar algo más la relación que se establece entre accesibilidad y densidad y mejorar la medida de accesibilidad. La segunda estrategia ha consistido en relacionar los parámetros de la función exponencial con algunas variables de carácter socio-económico.

Para el caso de la RMB, resulta especialmente conveniente incluir un gradiente asociado a la distancia al eje. Por otro lado, la población, la renta y el porcentaje de desplazamientos en transporte público ejercen un impacto negativo sobre el valor absoluto del gradiente (mayor suburbanización), mientras que el impacto de la superficie es positivo (menor suburbanización); o lo que es lo mismo, cuanto mayor sea la población, la renta media y el porcentaje de desplazamientos en transporte público de un municipio -una vez controlado el efecto de la distancia al centro- mayor es la densidad residencial, mientras que el efecto de la superficie es el contrario.

Ambas estrategias han resultado acertadas y pueden interpretarse como complementarias. No podemos sin embargo inclinarnos por una u otra, ya que en ambos casos obtenemos una capacidad explicativa similar.



## BIBLIOGRAFIA

ALONSO, W. (1964) *Location and Land Use*, Harvard University Press, Cambridge.

ALPEROVICH, G. (1983) "Determinants of urban population density functions" *Regional Science and Urban Economics*, nº 13, pp. 287-95.

ANDERSON, J.E. (1982) "Cubic-spline Urban Density Functions" *Journal of Urban Economics*, nº 12.

CABRÉ, A. Y J.A. MODENES (1997) "Dinàmiques demogràfiques recents a la Regió Metropolitana de Barcelona" *Revista Econòmica de Catalunya*, nº 33, desembre 1997.

CERVERO, R. Y K.L. WU (1996) "Subcentering and Commuting; Evidence from the San Francisco Bay Area, 1980-1990" *Environment and Planning A* nº 29/5.

CLUSA, J. y J. ROCA-CLADERA (1997) "El canvi d'escala de la ciutat metropolitana de Barcelona" *Revista Econòmica de Catalunya* nº 33, desembre 1997.

DIELEMAN, F.M. y A. FALUDI (1998) "Polynucleated Metropolitan Regions in Northwest Europe" *European Planning Studies*, Vol 6, nº 4.

DOWALL, D.E. y P.A. TREFFEISEN (1991) "Spatial transformation in cities of the developing world" *Regional Science and Urban Economics* nº 21.

FONT, A. LLOP, C. Y J.M. VILANOVA (2000) *La construcció del territori metropolità. Morfogènesi de la regió urbana de Barcelona. Àrea metropolitana de Barcelona. Mancomunitat de municipis. Barcelona, 2000.*

GARREAUU, J. (1991) *Edge cities: Life in the New Frontier*, NY, Doubleday.

GIULIANO, G. Y K.A. SMALL (1991) "Subcentres in the Los Angeles Region" *Regional Science and Urban Economics*, nº 21.

GOFFETTE-NAGOT, F. y B. SCHMITT (1999) "Agglomeration economies and spatial configurations in rural areas" *Environment and Planning A* 1999 Vol 31, pp. 1239-1257.

INGRAM, G.K. (1998) "Patterns of Metropolitan Development: What Have We Learned?" *Urban Studies* Vol 35, nº 7.

INGRAM, G.K. y A. CARROLL (1981) "The Spatial Structure of Latin American Cities" *Journal of Urban Economics*, nº 9.

JOHNSON, R. y J.B. KAU (1980) "Urban spatial structure: An analysis with a varying coefficient model" *Journal of Urban Economics* nº7, pp. 141-55.

LAHIRI, K. y R.P. NUMRICH (1983) "An econometric study on the dynamics of urban spatial structure" *Journal of Urban Economics* nº14, pp. 55-79.

LAMBOOY, J.G. (1998) "Polyucleation and Economic Development in Randstad" *European Planning Studies*, Vol 6, nº 4.

LeROY, S.Y. Y J. SONTELIE (1983) "Paradise Lost and Regained: Transportation Innovation, Income and Residential Location" *Journal of Urban Economics*, January 1983.

McDONALD, J.F. (1989) "Econometric studies of urban population density: A survey" *Journal of Urban Economics* nº26, pp. 361-385.

McMILLEN, D.P. y J.F. McDONALD (1998) "Population Density in Suburban Chicago: A Bid.Rent Approach" *Urban Studies*, nº 55/7.

MILLS, E.S. (1973) *Studies in the Structure of the Urban Economy*, Johns Hopkins Press, London.

MUTH, R.F. (1969) *Cities and Housing. The Spatial Pattern of Urban Residential Land Use*. The University of Chicago Press.

STEEN, R.C. (1986) "Nonubiquitous Transportation and Urban Population Density Gradients" *Journal of Urban Economics*, nº 20.

TRILLA, C. (1997) "La Barcelona metropolitana: transformacions generades per l'ocupació residencial" *Revista Econòmica de Catalunya*, nº 33.

TRULLEN J. et al (1989) "Canvi econòmic durant la crisi a l'àrea metropolitana de Barcelona: una aproximació territorial" *Revista Econòmica de Catalunya* nº 10.

ZHENG, X.P. (1991) "Metropolitan Spatial Structure and its Determinants: a case study of Tokio" *Urban Studies* nº 28.