

Dos procedimientos de jerarquización territorial orientados a la valoración catastral

Ignacio García Rodríguez
Gerente Territorial del Catastro
de Tarragona

Resumen

La valoración catastral contiene en gran medida una definición previa de jerarquías territoriales.

En el sistema catastral, este proceso se lleva a cabo en cascada, desde la fase de coordinación nacional, en la que se establecen los módulos de suelo y construcción, pasando por la coordinación a nivel regional que se lleva a cabo en las Juntas Técnicas Territoriales de Coordinación, hasta en la propia asignación de valores a nivel de polígono y finalmente de tramo de calle.

En este procedimiento, resulta de la máxima importancia disponer de herramientas de ayuda a la decisión de modo ágil, fiable y a bajo coste. La recogida de datos en campo puede ser eludida en ocasiones mediante el análisis de los propios datos en poder de la organización, o de datos de fácil acceso. Ello suele ser posible por la redundancia intrínseca de la información contenida en los datos.

El presente artículo describirá dos métodos de análisis territorial orientados a la valoración catastral.

En el primer caso la fuente de información será la Base de Datos Catastral, y en el segundo ejemplo se utilizarán dos variables de fácil obtención, una territorial, y otra económica.

Método de obtención automatizada de módulo básico de construcción

Objetivo

El Módulo Básico de Construcción (MBC) actúa en gran medida como un indicador de la calidad de los edificios situados en una zona económica homogénea.

El método que se describirá a continuación pretende ser una herramienta previa a la inferencia para la caracterización de los municipios en atención a sus características inmobiliarias.

A partir de datos estadísticos de fácil acceso, se construirán una serie de factores artificiales que actúan como variables ordinales susceptibles de ser utilizadas en ulteriores análisis de regresión. Posteriormente,

se inducirá una partición que permitirá la agrupación de los municipios por características homogéneas.

Para ello se analizarán estadísticamente los datos procedentes de la Base de Datos Catastral.

Esta estrategia es positiva porque:

1. Los datos son fácilmente accesibles (y por lo tanto baratos para la organización). No es necesario acudir a fuentes externas, ni a encuestas en campo.

2. Los datos son mantenidos por la misma organización que los analiza, lo que garantiza el conocimiento de dónde se encuentran sus incongruencias.

3. El resultado es automatizado, bastan una serie de correcciones por parte del ponente para garantizar la coherencia de los resultados.

Descripción del Método

La herramienta que se utilizará para el análisis es un método estadístico descriptivo multivariante llamado Análisis en Componentes Principales (A.C.P).

El A.C.P es especialmente efectivo en el análisis de Bases de Datos con fines exploratorios, ya que revela, de modo gráfico si se desea, la naturaleza de la realidad que se pretende analizar.

A cada municipio se le asocian unas variables catastrales, conformándose de este modo una matriz de n individuos (municipios) \times p variables.

Esta matriz de datos puede ser entendida como las coordenadas que ocupa cada municipio en una nube de puntos en un espacio p -dimensional. Dos municipios serán tanto más parecidos desde el punto de vista inmobiliario cuanto más cerca estén en esta nube de puntos.

Dado que es imposible visualizar un espacio p -dimensional, el A.C.P obtendrá una proyección óptima según unos criterios matemáticos, sobre un espacio de dos dimensiones que nos permita "ver" cual es la forma de la nube de puntos.

El A.C.P se basa en aprovechar la intrínseca redundancia de la información contenida en las diferentes variables escogidas, para construir un subespacio reducido, cuyos ejes (llamados ejes factoriales), son variables artificiales combinación lineal de las variables naturales. Como ya hemos dicho, dichas variables artificiales pueden ser ulteriormente utilizadas en análisis de regresión.

El A.C.P permite así una exploración automatizada de asociaciones significativas (data-mining). Resulta óptima su utilización en grandes Bases de Datos, tal como es la Catastral. Los resultados que arroja el análisis permitirán observar relaciones hasta el momento no evidentes (1).

Las variables

Las variables proceden de la explotación de la Base de Datos Catastral llevada a cabo por la Gerencia Regional de Cataluña en 1997.

Esta explotación se compone de 68 campos agrupados en

1. Códigos identificadores (5 campos)
2. N° de parcelas por tipos (5 campos)
3. Superficies de parcelas por tipos (5 campos)
4. Superficies construidas totales y por tipos de propiedad (4 campos)
5. Superficies construidas por rangos de fechas (8 campos)
6. Superficies construidas por usos y tipologías (40 campos)

Esta explotación automatizada es una potentísima herramienta de análisis territorial que pone una vez más de manifiesto las enormes potencialidades del Catastro multifuncional.

(1) Para una mejor comprensión del ACP, de un modo didáctico y accesible pero riguroso, resulta muy recomendable la lectura del libro de Aluja Banet T. , Morineau A. (1999) . *Aprender de los Datos: El Análisis de Componentes Principales. Una aproximación desde el Data Mining*. Ediciones Universitarias de Barcelona. Barcelona.

Se ha limitado el análisis en una primera etapa a los municipios de la provincia de Tarragona. El método es sin embargo extrapolable para ámbitos mayores.

Se han construido estas variables:

1 ANEFEC (Año efectivo de la construcción del municipio).

[ANEFEC = (Σ superficie construida por años x año central del intervalo) / superficie total construida con fecha asignada]

Es la media ponderada de las superficies construidas por tramos de años dividido por las superficies construidas que tienen fecha asignada. Se ha tomado como fecha para todo el intervalo la correspondiente a su centro, y para las construidas con anterioridad a 1940 se ha tomado 1930.

Así SCA1940 (Superficie construida anterior a 1940) = 1930, SCA4150 = 1945, SCA5160 = 1955, y así sucesivamente.

Esta variable en conjunto con otras, mide bastante bien la dinámica inmobiliaria de los municipios, como veremos a continuación.

2 SCEDIF (Superficie construida media por edificio).

Perseguimos con esta variable obtener una idea del tamaño medio de los edificios en el municipio, esto es la superficie total construida menos las tipologías «descubiertas», que desvirtúan totalmente los resultados, especialmente en los municipios pequeños.

Después de este filtro previo, se han calculado los porcentajes totales por uso comercial, industrial, hostelero y de oficinas, respecto a la superficie construida total corregida, y se han controlado aquellos casos en los que el porcentaje excedía en más de 1,96 veces la desviación estándar de los porcentajes por usos.

Esto nos ha llevado a deducir adicionalmente 9.901 m² hoteleros en Vallfogona de Riucorb y 798 m² en La Febró, que la situaban con análogo índice hotelero a Salou.

La anterior eliminación de tipologías como los depósitos, y las obras de urbanización interior garantizan un mayor control a los resultados.

3 PARCMED (Parcela media del municipio).

Se trata de identificar la «parcela tipo» del municipio.

En esta variable se ha de tener precaución con los municipios que tienen una gran cantidad de suelo vacante, bien porque se encuentren en plena expansión inmobiliaria, o bien porque tengan grandes extensiones de terreno sin desarrollo urbanístico.

Se deducen campos de golf y campings.

Para evitar las distorsiones de las bolsas de suelo urbanizable o de grandes urbanizaciones sin edificar, la fórmula adoptada para esta variable será:

$$\text{PARCMED} = (\text{SSTOTCOR} - \text{SSSOLAR}) / (\text{NTODOS} + \text{NCOPRO})$$

siendo SSTOTCOR = superficie de suelo total corregida, SSSOLAR = superficie de suelo de solares, NTODOS = número de fincas de propiedad única y NCOPRO = número de fincas en copropiedad.

4 DENCON (Densidad constructiva del municipio).

$$[\text{DENCON} = \text{SCTOTCOR} / (\text{SSTOTCOR} - \text{SSSOLAR})]$$

Esta variable está referida a la densidad constructiva de las parcelas que están edificadas, a diferencia de análisis anteriores. La fórmula será

$$\text{DENCON} = \text{SCTOTCOR} / (\text{SSTOTCOR} - \text{SSSOLAR})$$

siendo SCTOTCOR = superficie construida total corregida.

5 PSUNOCO (Porcentaje de suelo no construido).

$$[\text{PSUNOCO} = \% \text{SOLARES SOBRE SSTOTCOR}]$$

Esta variable pretende medir el esponjamiento del tejido urbano, se define como %solares sobre SSTOTCOR.

6 PSREUNI (Porcentaje de techo dedicado a residencial unifamiliar sobre total).

$$[\text{PSREUNI} = \% \text{TECHO RESIDENCIAL UNIFAMILIAR SOBRE SSTOTCOR}]$$

Es el % de superficie construida dedicada a residencial unifamiliar sobre SCTOTCOR

$$\text{[Superficie construida residencial unifamiliar} = \text{RESUNA} + \text{RESUNF} + \text{RESRUR]}$$

siendo RESUNA = residencial unifamiliar aislado, RESUNF = residencial unifamiliar en hilera y RESRUR = residencial unifamiliar rural.

7 PSCTUR (Porcentaje de superficie de hostelería sobre SCTOTCOR)

$$\text{[PSCTUR} = \text{\% TECHO DEDICADO A HOSTELERÍA SOBRE SCTOTCOR]}$$

Mide actividad económica de servicios, y en el caso de Tarragona contribuye a definir un eje factorial COSTA-INTERIOR.

Se desechó el uso de una variable análoga para uso industrial. Sin embargo, las edificaciones codificadas con tipologías 0.2.*.*, pueden ser también almacenes, trasteros y naves, por lo que este grupo de edificaciones no mide directamente la actividad industrial.

Con estas variables se genera un modelo factorial que defina la morfología urbana de los municipios. La hipótesis subyacente en torno a la que orbita todo el presupuesto es que la información es hasta tal punto redundante que las variables catastrales físicas (fotos de la situación en una determinada fecha) son capaces de medir la actividad inmobiliaria, o dicho de otro modo, es de esperar que la morfología urbana se encuentre de alguna manera relacionada con la actividad económica del municipio, ya que aquella es consecuencia de esta en cierto modo.

El Análisis en Componentes Principales

Las proporciones entre desviación típica y media de las distintas variables aconsejan centrar y reducir las variables, excepto aquellas que son tasas para llevar a cabo un ACP normalizado (ver cuadro 1). De este modo se elimina en gran medida la influencia de la talla de los individuos. Esto es, el modelo no se distorsionará por existir municipios de muy diversos tamaños.

Cuadro 1
Estadísticos básicos iniciales

Variable	Media	Desviación estándar	Mínimo	Máximo
PSCTUR				
(tantos por uno)	,01	,01	,00	,16
PSRECOL				
(tantos por uno)	,07	,12	,00	,58
PSCREUNI				
(tantos por uno)	,37	,10	,06	,68
PSUNOCO				
(tantos por uno)	,38	,21	,01	,92
DENCON				
(m ² / m ²)	,96	,55	,08	2,28
SCEDIF				
(m ²)	284,81	137,22	144,19	1471,47
PARCMED				
(m ²)	482,97	460,04	76,84	2753,12
ANEFEC	1949,68	12,47	1930,53	1981,00

Cuadro 2
Matriz de correlaciones de las variables normalizadas

	ZANEFEC	ZDENCON	ZPARCMED	ZPSCREUN	ZPSCTUR	ZPSRECOL	ZPSUNOCO	ZSCEDIF
ZANEFEC	1,00000							
ZDENCON	-0,67075	1,00000						
ZPARCMED	0,59083	-0,70008	1,00000					
ZPSCREUN	0,07729	-0,27533	0,02051	1,00000				
ZPSCTUR	0,40430	-0,14925	0,25830	-0,25968	1,00000			
ZPSRECOL	0,63486	-0,25707	0,29746	-0,48919	0,57185	1,00000		
ZPSUNOCO	0,50223	-0,55749	0,33641	0,16131	0,27605	0,27725	1,00000	
ZSCEDIF	0,30081	-0,04339	0,29139	-0,64530	0,64517	0,68378	0,11579	1,00000

Variables normalizadas:

ANEFEC → ZANEFEC
 DENCON → ZDENCON
 PARCMED → ZPARCMED
 PSCREUNI → ZPSCREUN
 PSCTUR → ZPSCTUR
 PSRECOL → ZPSRECOL
 PSUNOCO → ZPSUNOCO
 SCEDIF → ZSCEDIF

La matriz de Correlaciones:

Ninguna variable supera $\pm 0,70$ (ver cuadro 2), por lo que no es previsible ningún «efecto haz» al configurarse los ejes factoriales (ninguna variable es suficientemente «fuerte» como para distorsionar el modelo).

Con un modelo de dimensión cuatro, seleccionando los autovalores superiores a

0,54, se obtiene un modelo con el 87% de la variancia, pero los ejes no son más interpretables que con el modelo de 2 dimensiones. Podremos “ver” los municipios de Tarragona en relación a las 7 variables escogidas proyectados en un plano.

Con un anterior modelo se llegó a reproducir el 75% de la inercia (variancia) de la nube inicial, pero en un subespacio de dimensión 3; Ahora se ha proyectado toda la nube de dimensión 7 en un plano, conservando el 71,1 % de la información inicial. El procedimiento busca recoger el máximo de información inicial, reduciendo al máximo las dimensiones espaciales finales. Es equivalente a buscar el plano sobre el que la nube de puntos arroja una “sombra” que aporte el máximo de información (ver cuadro 3).

Cuadro 3
Autovalores y % de variancia recogida por los factores

Variable	Comunalidad	Factor	Eigenvalue	% de variancia	% acumulado
ZANEFEC	1,00000	1	3,52879	44,1	44,1
ZDENCON	1,00000	2	2,16284	27,0	71,1
ZPARCMED	1,00000	3	0,73926	9,2	80,4
ZPSCREUN	1,00000	4	0,54902	6,9	87,2
ZPSCTUR	1,00000	5	0,50149	6,3	93,5
ZPSRECOL	1,00000	6	0,20470	2,6	96,1
ZPSUNOCO	1,00000	7	0,18670	2,3	98,4
ZSCEDIF	1,00000	8	0,12720	1,16	100,0

Cuadro 4
Correlación entre variables y factores

	Factor 1	Factor 2
ZANEFEC	0,82750	-0,31278
ZPSRECOL	0,80323	0,37419
ZPARCMED	0,68689	-0,35999
ZPSCTUR	0,68289	0,34168
ZSCEDIF	0,67259	0,62791
ZPSUNOCO	0,57396	-0,43161
ZPSCREUN	-0,25983	-0,82282
ZDENCON	-0,64140	0,64888

En esta matriz aparecen las correlaciones entre las variables y los ejes factoriales. Es una matriz fundamental para la interpretación de los ejes factoriales porque se puede observar directamente qué variables están correlacionadas con qué ejes (ver cuadro 4):

Interpretación de los factores

Como se aprecia en el Cuadro 5, el Factor 1 está correlacionado positivamente con año efectivo de construcción reciente, alto porcentaje de residencial colectivo, parcelas tipo por encima de la media provincial, usos turísticos por encima de la media, edificios mayores que la media provincial, y en menor medida, existencia de suelo vacante.

Este eje es la fusión de los factores 1 y 3 de un anterior análisis, y viene a marcar la frontera entre la provincia de la costa y del interior, la provincia con mayor y menor renta, la industrial y la agrícola. Cuanto más positiva sea la coordenada en el eje 1 del municipio en cuestión, más acentuada será su situación en esta escisión.

El Factor 2 también se interpreta bastante bien: está fuertemente correlacionado negativamente con Residencial unifamiliar, y apreciablemente correlacionado positivamente con densidad de parcela construida.

Es, evidentemente, municipio vertical-municipio horizontal

Cuanto más positiva sea la coordenada en este eje, más «vertical» será el municipio, y al contrario, más «horizontal», y menos denso será.

Como vemos, las variables menos explicativas son Parcela Media, % uso Turístico, y %Suelo no construido, porque son las que más expuestas están a factores «aleatorios».

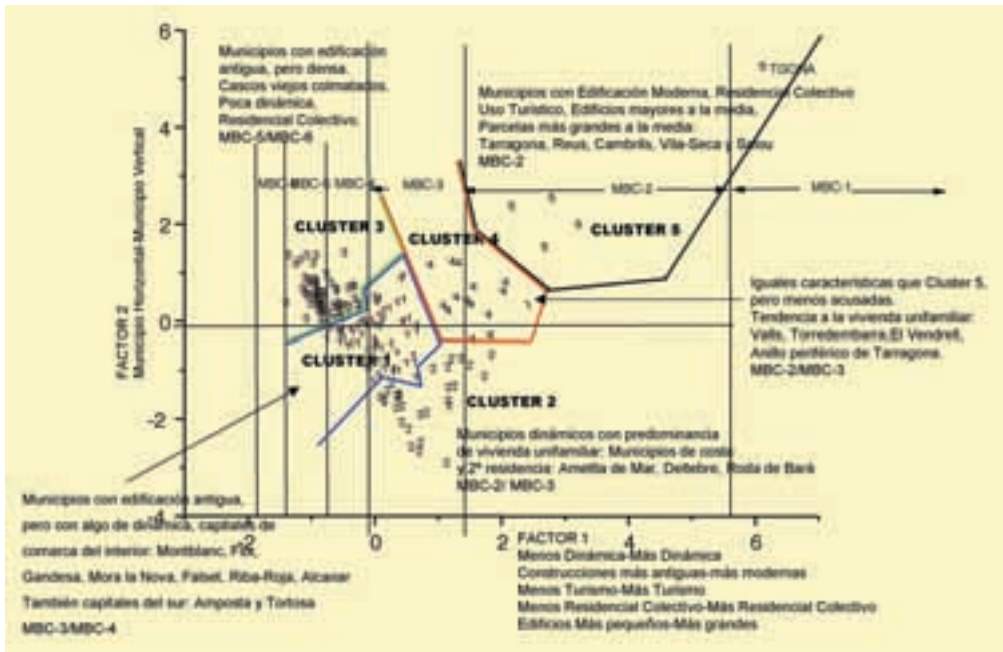
Clasificación automática

Tras la obtención de los ejes factoriales, tenemos todos los municipios proyectados en un plano de dos dimensiones, que en realidad representa simultáneamente 7 variables; la primera coordenada será la proyección del municipio sobre el factor 1 y la segunda coordenada será la proyección del municipio sobre el factor 2. Llevamos a

Cuadro 5
Modelo de dos dimensiones adoptado

Variable	Comunalidad	Factor	Eigenvalue	% de variancia	% acumulado
ZANEFEC	0,78259	1	3,52879	44,1	44,1
ZDENCON	0,83244	2	2,16284	27,0	71,1
ZPARCMED	0,60141				
ZPSCREUN	0,74455				
ZPSCTUR	0,58308				
ZPSRECOL	0,78520				
ZPSUNOCO	0,51572				
ZSCEDIF	0,84665				

Figura 1
Representación gráfica de la nube de puntos



cabo una partición directa (cluster), que pretende agrupar la nube proyectada por conglomerados según un criterio de proximidad. Con esto logramos llevar a cabo una partición del municipio en 5 categorías interpretables.

Estas categorías definen 5 grupos básicos de municipios en la provincia según su morfología urbana (ver figura 1).

CLUSTER 1: Municipios de edificación antigua con cascos antiguos grandes en relación con el total. Dinámica inmobiliaria media. Capitales de Comarca del Interior: Flix, Tortosa, Mora d'Ebre, Gandesa, Amposta.

CLUSTER 5: Ciudades con gran dinámica inmobiliaria, predominancia de residencial colectivo, parcelas más grandes que la media, usos turísticos en porcentaje importante: Tarragona, Reus, Cambrils, Vila-Seca, Salou.

CLUSTER 4: Iguales características que el cluster 5 pero menos acusadas: Torredembarra, El Vendrell, Valls, Área suburbana de Tarragona.

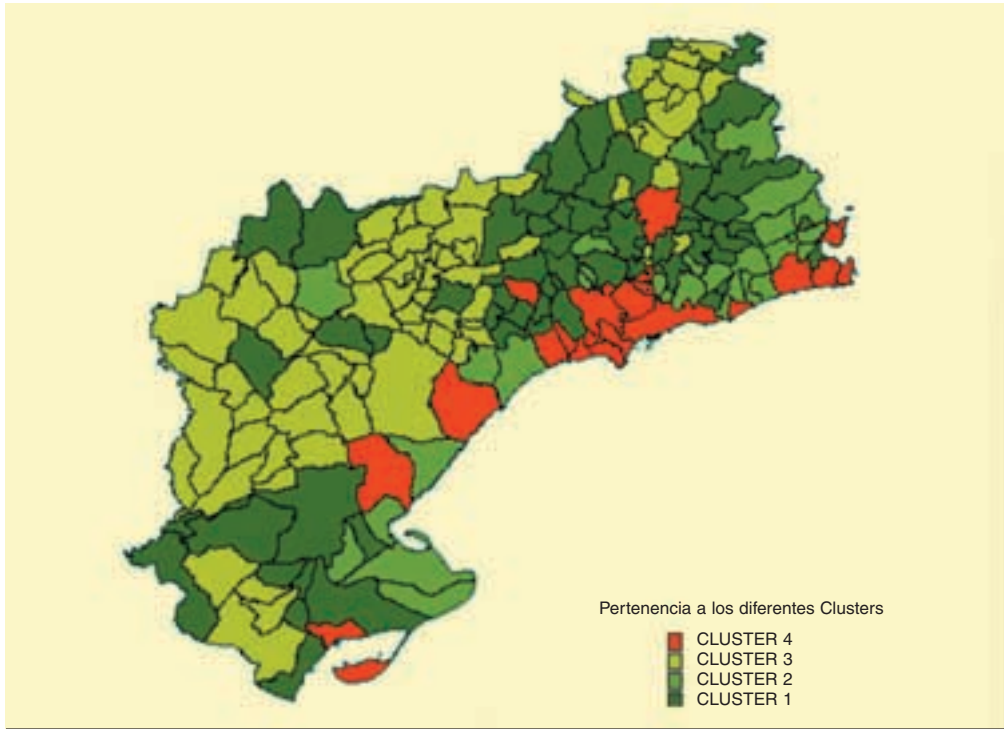
CLUSTER 2: Municipios con dinámica con predominancia de residencial unifamiliar; municipios de costa y de segunda residencia: Roda de Barà, L'Ametlla de Mar, Deltebre.

CLUSTER 3: Municipios sin dinámica inmobiliaria y con edificación vieja y colmatada (cascos viejos estáticos): Pueblos de la Terra Alta, Priorat, Conca de Barberà (ver figura 2).

Obtención del MBC

Si observamos la figura en la que aparecen los municipios representados según los dos factores observaremos que los municipios más "horizontales" se encuentran hacia la parte baja del plano, mientras que los verticales se encuen-

Figura 2
Clasificación por características inmobiliarias



tran la parte de arriba; sin embargo, la dinámica inmobiliaria parece estar bien representada por su posición en el eje horizontal: cuanto más a la derecha se encuentran (mayor es su coordenada en el factor 1), más dinámicos son; en el extremo izquierdo (con valores negativos de factor 1) se encuentran los pueblos sin dinámica.

Se puede afirmar que el factor 1 obtenido en el modelo factorial mide directamente la actividad inmobiliaria y el grado de envejecimiento del parque inmobiliario, esto es, los datos intrínsecamente encierran la naturaleza del municipio desde el punto de vista de la dinámica inmobiliaria.

Por lo tanto, la coordenada sobre el factor 1 es una variable numérica continua sobre la que basta definir una partición por rangos para categorizar los municipios (ver figura 3).

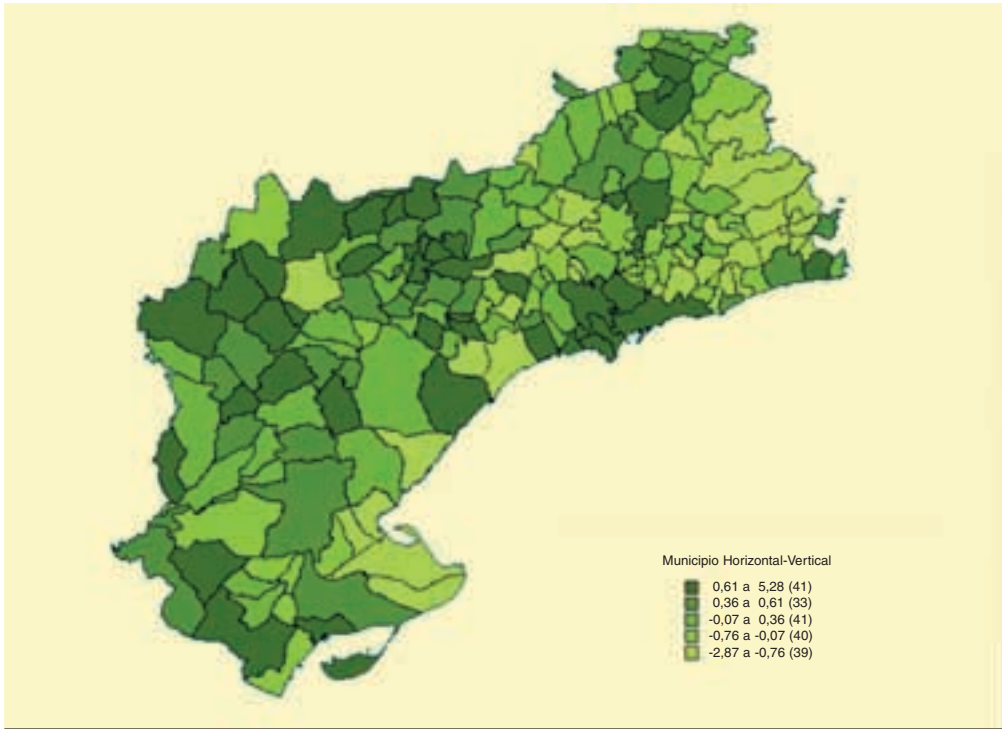
Contraste empírico

Queda por definir la frontera exacta entre los diferentes MBC.

En este momento disponemos de un listado de municipios ordenados por su coordenada horizontal: el municipio con el valor más alto es Salou, con 6,06, Tarragona tiene 2,75, Amposta, 0,41, y así sucesivamente hasta llegar a Bellmunt del Priorat, que tiene una coordenada $-1,45$.

Resulta posible mediante tanteos establecer los límites superior e inferior de cada módulo. Estos límites vendrán definidos por criterios estrictamente territoriales. Así sabemos que Deltebre, Montblanc y Alcanar son MBC-3. Como sus valores son 0,29, 0,31 y 0,47, tenemos ya establecido el margen infe-

Figura 3
Partición por rangos. Factor 2



rior de este módulo, que hemos fijado en 0,00 por abajo. Por arriba es algo más complicado, pero hemos optado por llegar a 2,10, Calafell. Los que están por encima de 2,10 son Tarragona, Reus, Salou, Vila-seca y Cambrils.

Por debajo de 0,00 podemos asignar MBC-4, y en este caso se ha optado por asignar MBC-5 por debajo de $-0,80$.

La asignación representada en un mapa presenta una coherencia territorial buena.

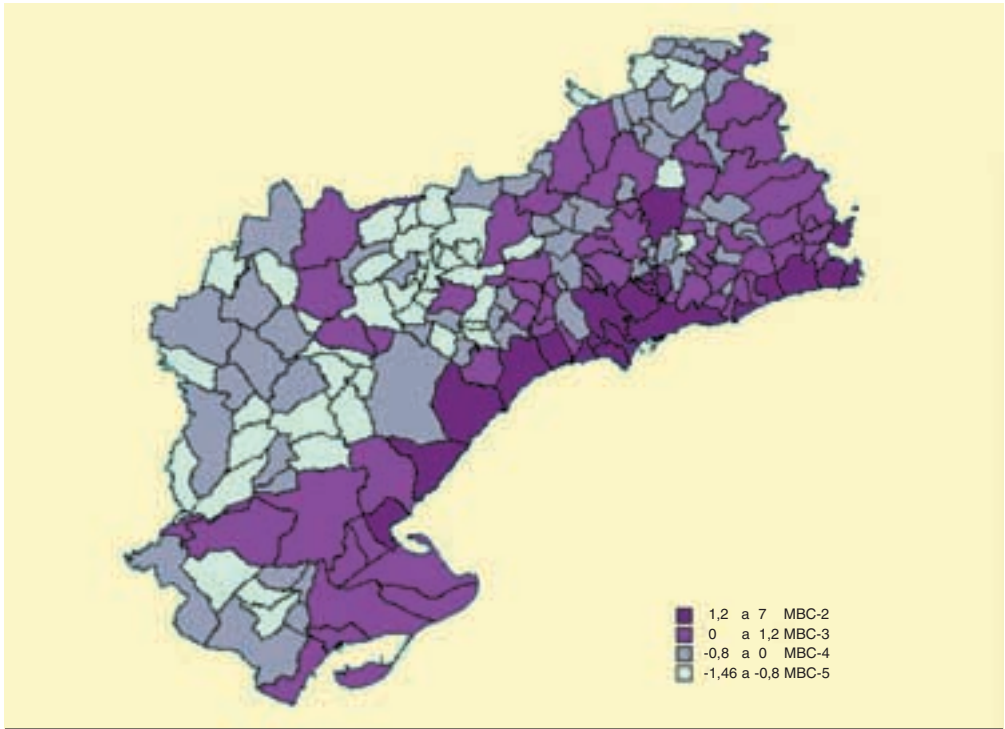
La aplicación del sistema descrito a ámbitos territoriales mayores sería un buen indicador de su bondad y pondría de manifiesto con total seguridad los problemas al entrar en el cálculo municipios completamente fuera de rango, como Barcelona con respecto a Tarragona (ver figura 4).

Descripción de un modelo territorial de interacción gravital para la provincia de Tarragona orientado a la valoración inmobiliaria

Breve introducción a los modelos de interacción gravitales de Stewart-Zipf

Por analogía con métodos e ideas procedentes del campo de la física y la química pueden considerarse los sistemas de regiones y los urbanos como agregados de partículas que sufren y ejercen entre si interacciones de diverso signo.

Figura 4
Asignación automatizada del MBC según Factor 1



Stewart y Zipf en trabajos paralelos desarrollaron este modelo.

Stewart alude a una *física social*, según la cual sólo es posible descubrir las complejas interacciones sociales mediante el estudio de grandes agregados de partículas sociales (los individuos).

Basandose en la mecánica de Newton, definió una Fuerza Demográfica

$$F = G \cdot P_i P_j / d_{ij}^2 \quad [1]$$

Donde G es una constante gravital.

Un segundo concepto es el de Energía Demográfica:

$$E = G \cdot P_i P_j / d_{ij} \quad [2]$$

Finalmente, el Potencial Demográfico (gravitacional) en un punto i ejercido por

una ciudad j se define como la masa de j, o sea P_j , dividida por la distancia existente:

$$V_j = G \cdot P_j / d_{ij} \quad [3]$$

Por ejemplo, el potencial gravitacional en el centro de Tarragona ejercido por Barcelona es igual a la población de Barcelona dividido por 100 km. El resultado es una magnitud que dimensionalmente se expresa en [hab/km]. Stewart habla del potencial de población en un punto como una "...medida de proximidad de la población a ese punto, o como una medida de accesibilidad agregada, y más simplemente como una medida de la influencia de la población en una distan-

cia.” (2) Posteriormente se propondrá una interpretación para este estimador.

Cuando existe más de una masa, el potencial en un punto i , expresado como V_i es la suma de todos los potenciales ejercidos por las diferentes ciudades.

$$V_i = G \cdot P_1/d_{i1} + G \cdot P_2/d_{i2} + \dots + G \cdot P_n/d_{in} = \sum_{j=1}^n P_j/d_{ij} \quad [4]$$

Stewart calculó en la década de los 40 los potenciales de ciudades de EEUU, y uniendo los puntos de igual potencial generó mapas de potenciales.

Los trabajos de Zipf se diferencian de los de Stewart en que se analizan pares de ciudades, y calculando la energía según la expresión [2], obtiene correlación lineal entre este factor y el logaritmo del número de viajeros en tren que se desplazan entre ellas.

Zipf introduce en el análisis magnitudes no sólo demográficas sino también de intercambio económico, tales como llamadas telefónicas y tonelaje de transporte de mercancías.

Objetivo del trabajo

Se entiende el valor de mercado de los inmuebles en este contexto como la medida de Potenciales Gravitatorios construidos con factores que miden la renta de los habitantes (variable económica), la importancia del municipio (población) y con la distancia entre los núcleos en transportes por tierra (variable locacional). Así, los habitantes se distribuirían en el territorio en función de su renta y de su accesibilidad a los municipios centrales, estableciéndose la clásica subasta locacional.

Basándonos en la Hipótesis de Stewart-Zipf, resulta posible definir un modelo gravitacional de interacción para Tarragona y su sistema de ciudades hasta Barcelona y Lleida, mediante la obtención de un estimador de Potencial.

Posteriormente, se representará dicho potencial y se definirá empíricamente un esbozo de correlación con valores de mercado.

Se tomarán como unidades de análisis de datos, y objeto del estudio las comarcas de la provincia de Tarragona.

Como hipótesis simplificadora, se concentrará en las capitales de las mismas la totalidad de la población comarcal, actuando estas como centro de gravedad de la unidad de estudio.

Las distancias asimismo se calcularán con relación a las capitales.

Esta simplificación es lícita porque:

1.—Las comarcas son unidades homogéneas que gravitan en torno a la capital comarcal (todos los estudios de comarcalización han tenido como objetivo la obtención de estos centros relevantes de ámbitos territoriales homogéneos).

2.—Las capitales se encuentran siempre en una situación central, no periférica de la región que representan, por lo que simultáneamente son centro de gravedad de población y económico y geográfico. (Coincide el centro de gravedad físico con el económico)

3.—Las comarcas tienen una forma geométrica regular.

4.—El área de la comarca es inversamente proporcional a la densidad de la misma. En efecto, las comarcas más densamente pobladas son más pequeñas.

En el caso de estudiar una región que no se encuentre totalmente aislada, es necesario calcular la interacción producida por las regiones limítrofes.

Resultaría más significativo el cálculo de un mapa de potencial de toda Cataluña, y más aún uno de toda España. Por ello, si bien se calcularán los potenciales para la provincia de Tarragona, se considerarán los potenciales ejercidos por las comarcas de Lleida y Barcelona con los que la provincia tiene límite común, más Barcelonès y Baix Llobregat por el enorme peso demográfico y económico que ejercen sobre Tarragona.

Habría resultado oportuno establecer un segundo orden (resto de Cataluña), y un tercer orden (resto de España). Para ello, se

(2) Isard, Walter., *Métodos de Análisis Regional*, (2ª Ed., 1973) Ed. Ariel, Barcelona, p 515; referenciado de Stewart, John Q. "Demographic Gravitation: Evidence and Applications", *Sociometry*, Vol 11 (feb-mar 1948).

debería haber localizado respectivamente la población del resto de Cataluña y de España en un punto (quizás en el centro de gravedad ponderado).

Por ello, el modelo propuesto tiende a subvalorar el potencial de las zonas extremas lindantes con Aragón y con Valencia.

Potenciales calculados

a) *Potencial Población / Distancia*

Se tomará como potencial

$$V = G \cdot \sum_{j=1}^n \frac{P_j}{1+d_{ij}}$$

Donde:

V = Potencial en la ciudad i producido por las comarcas i a j (n comarcas).

G = Constante Gravitatoria (en este caso = 1).

P_j = Población de la ciudad que ejerce la interacción.

d_{ij} = Distancia en km y por carretera de la ciudad j a la ciudad i .

Para el cálculo del potencial de una ciudad sobre sí misma, se ha de introducir necesariamente una corrección, de lo contrario el potencial sería infinito (distancia = 0).

Se considerará, pues, que toda masa concentrada alrededor de i se encuentra a cierta distancia finita de i . Se ha optado por considerar como denominador $1 + d_{ij}$. Así, una ciudad ejerce sobre sí misma un valor equivalente a su propia población.

b) *Potencial Población / Tiempo*

Se tomará como potencial

$$V = G \cdot \sum_{j=1}^n \frac{P_j}{1+d_{ij}}$$

Donde:

V = Potencial en la ciudad i producido por las comarcas i a j (n comarcas).

G = Constante Gravitatoria (en este caso = 1).

P_j = Población de la ciudad que ejerce la interacción.

d_{ij} = Tiempo por carretera de la ciudad j a la ciudad i .

Para el cálculo del tiempo por carretera se ha considerado la velocidad en cada tipo de vía.

En relación con la medición de distancias, en los modelos de interacción reviste gran importancia el fenómeno que se está estudiando. Isard cita diversos estudios en los que se tienen en cuenta como distancias el coste del transporte (y no la distancia propiamente), el número de paradas, y la “distancia social”.

Potenciales con ponderación en la masa y en la distancia

Las fórmulas [1] a [4] tienen en consideración para cada masa ponderaciones idénticas e iguales a la unidad. Al margen de analogías extraídas de la física, (de la mecánica de gases y newtoniana), en la línea de los primeros teóricos del modelo, resulta razonable pensar que la influencia social de los individuos es directamente proporcional a su nivel de renta, de instrucción u otros parámetros similares. Por ello, resulta plausible considerar cada habitante multiplicándolo por su nivel de renta. Esto es especialmente oportuno en el campo de la valoración inmobiliaria, donde los valores se forman a través de una subasta de localización, dependiente en gran medida de la capacidad económica de la demanda.

Así las fórmulas [2], [3] y [4] generalizadas se convierten en:

$$E = G \cdot (\omega_i P_i) (\omega_j P_j) / d_{ij}^b \quad [5]$$

$$V_j = G \cdot (\omega_i P_i) / d_{ij}^b \quad [6]$$

$$V = G \cdot (\omega_i P_i) / d_{ii}^b + \dots + G \cdot (\omega_j P_j) / d_{ij}^b = G \cdot \sum_{j=1}^n (\omega_j P_j) / d_{ij}^b \quad [7]$$

como $\omega_j P_j$ es la renta total de la región j (Y_j), la ecuación [7] se puede expresar así:

$$V = G \cdot \sum_{j=1}^n Y_j / d_{ij}^b$$

Así pues, en los modelos c) y d) se ha considerado:

— d elevado al cuadrado (para distancia y tiempo).

— Población multiplicada por renta declarada en IRPF96/habitante.

c) *Potencial Población / Distancia al cuadrado*

Se tomará como potencial

$$V = G * \sum_{j=1}^n \cdot P_j / (1 + d_{ij})^2$$

Donde:

V_i = Potencial en la ciudad i producido por las comarcas i a j (n comarcas).

G = Constante Gravitatoria (en este caso = 1).

P_j = Población de la ciudad que ejerce la interacción.

d_{ij} = Distancia en km y por carretera de la ciudad j a la ciudad i .

Este modelo c) sólo pretende poner de manifiesto la posibilidad de ponderar la dis-

tancia mediante la adopción de un exponente.

En el caso que nos ocupa, la adopción de un exponente = 2 hace que disminuya hasta tal punto la interacción entre las ciudades que sólo es relevante la interacción de la ciudad sobre sí misma.

Sin embargo existen otros estudios con finalidades diferentes que han utilizado exponentes inferiores a la unidad y superiores a 2.

La definición del exponente adecuado, en términos matemáticos puede entenderse como la definición de una métrica.

En algún caso más general, el exponente no es una constante sino que es una función. Se puede establecer la función que empírica-

Cuadro 6
Comarcas y datos considerados

Provincia	Comarca	Población comarcal año 1999	Renta / hab 1996 (miles pta)*	Capital comarcal	Cód INE
Barcelona	Baix Llobregat	545.833	2060	Cornellà de Llobregat	08073
Barcelona	Baix Llobregat_2	120.340	2320	Martorell	08114
Barcelona	Barcelonès	2.114.697	2904	Barcelona	08019
Barcelona	Alt Penedès	76.018	2361	Vilafranca del Penedes	08305
Barcelona	Anoia	88.637	2212	Igualada	08102
Barcelona	Garraf	99.779	2238	Vilanova i la Geltrú	08307
Lleida	Garrigues	19.234	1917	Borges Blanques, les	25058
Lleida	Pla d'Urgell	29.281	2043	Mollerussa	25137
Lleida	Segarra	17.732	1993	Cervera	25072
Lleida	Segrià	164.760	2236	Lleida	25120
Lleida	Urgell	30.694	1981	Tàrraga	25217
Tarragona	Alt Camp	35.028	2119	Valls	43161
Tarragona	Baix Camp	141.564	2158	Reus	43123
Tarragona	Baix Ebre	66.081	2044	Tortosa	43155
Tarragona	Baix Penedès	53.436	2150	El Vendrell	43163
Tarragona	Conca de Barberà	18.335	2004	Montblanc	43086
Tarragona	Montsià	55.389	1794	Ampostà	43014
Tarragona	Priorat	9.144	1821	Falset	43055
Tarragona	Ribera d'Ebre	22.201	2286	Mora d'Ebre	43093
Tarragona	Tarragonès	175.038	2511	Tarragona	43148
Tarragona	Terra Alta	12.283	1663	Gandesa	43064

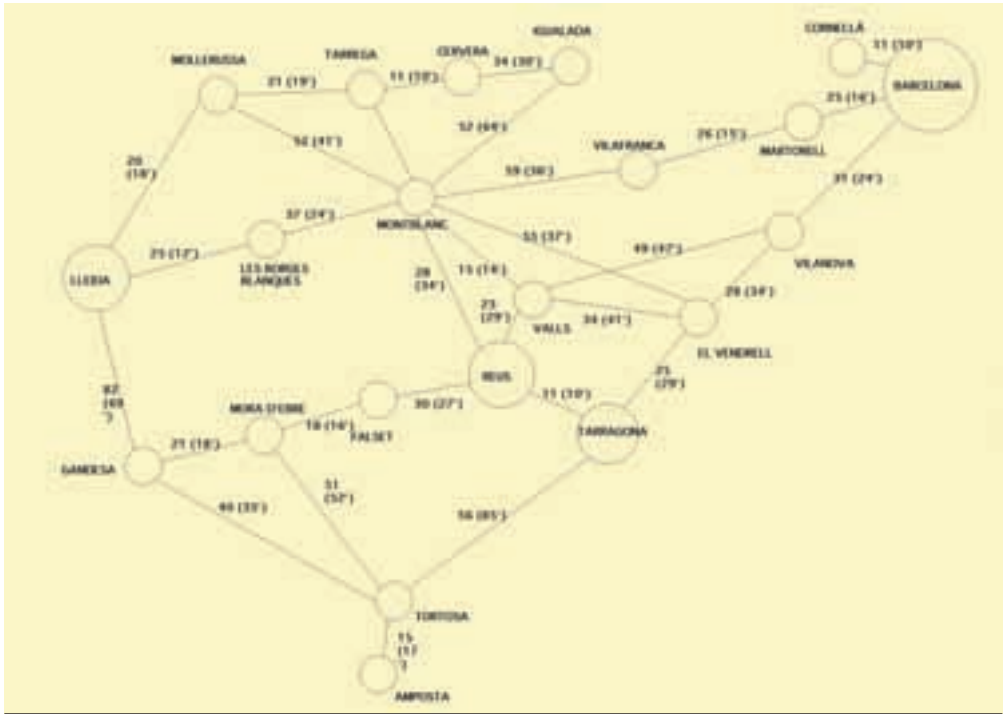
*Datos referidos a la capital comarcal.

Cuadro 7
Matriz de Distancias (Modelo Distancia medida en Tiempo)

Amposta	1	204	155	189	214	175	129	83	55	223	137	157	139	66	111	100	178	15	140	149	163
Barcelona	149	103	92	101	61	46	98	85	52	198	121	139	117	69	83	73	158	17	106	116	126
Borges Blancues	129	59	92	101	61	46	1	74	109	59	115	104	55	88	40	29	90	114	41	20	18
Cervera	98	58	61	87	41	31	1	58	96	64	79	72	37	78	35	25	79	81	34	17	22
Cornella	83	168	95	107	134	118	74	1	39	156	100	111	58	18	30	41	96	69	59	92	98
Garrigues	85	120	85	114	85	76	58	1	34	109	86	101	61	16	27	37	104	68	50	63	77
Segarra	55	185	104	138	174	160	109	39	1	195	82	102	97	21	69	80	123	40	98	131	137
Belones	52	126	85	119	120	111	96	34	1	143	69	87	95	18	61	71	106	35	63	97	111
Barcelona	139	110	37	47	121	85	55	58	97	52	52	52	1	76	28	39	36	124	15	59	83
Cervera	117	67	24	53	77	51	37	61	95	64	36	41	1	77	34	44	43	100	14	36	71
Garrigues	66	147	107	134	158	161	88	18	21	128	82	102	76	1	48	59	112	51	77	135	126
Segarra	69	136	82	117	146	128	78	16	18	141	70	88	77	1	43	53	120	52	66	113	113
Borges Blancues	111	109	65	75	109	86	40	30	69	80	90	80	28	48	1	11	64	96	29	60	68
Cornella	83	94	58	87	93	68	35	27	61	98	70	75	34	43	1	10	77	66	23	53	69
Barcelona	100	88	76	86	99	75	29	41	80	91	101	91	39	59	11	1	75	85	40	49	57
Garrigues	73	83	68	97	83	58	25	37	71	108	80	85	35	53	10	1	87	56	33	43	59
Segarra	15	173	147	171	184	160	114	69	40	173	122	142	128	51	96	85	163	1	125	134	142
Borges Blancues	17	139	116	153	149	114	81	68	35	145	104	122	100	52	66	56	141	1	89	99	115
Barcelona	140	80	52	62	91	100	41	59	98	67	77	97	15	77	29	40	51	125	1	74	49
Amposta	106	71	38	67	81	65	34	50	84	78	50	68	14	66	23	33	57	89	1	50	47

Distancias en km; Tiempo en minutos de carretera, considerando tipo de vía y velocidad máxima.

Figura 5
Grafo considerado



mente establece el mejor ajuste para los datos reales de interacción objeto de estudio.

Desde este punto de vista, el modelo de interacción entabla puentes de contacto con técnicas de análisis multivariante de datos.

Otras analogías con el análisis factorial se encuentran en lo relativo a la necesaria definición de una métrica y a la definición de una ponderación para las variables (matrices de métrica y peso).

d) Potencial Población-Renta/distancia en tiempo

$$V_i = G \cdot \sum_{j=1}^n (\omega_j P_j) / d_{ij} \quad [7]$$

Donde:

V_i = Potencial en la ciudad i producido por las comarcas i a j (n comarcas).

G = Constante Gravitatoria (en este caso = 1).

ω = Renta/habitante según IRPF96 de la capital de la comarca.

P_j = Población de la ciudad que ejerce la interacción.

d_{ij} = Distancia en km y por carretera de la ciudad j a la ciudad i .

En este modelo, el más complejo y que mejor ajuste da, se pretende por un lado establecer un estimador locacional basado en términos de accesibilidad a las zonas de máximo potencial (d_{ij}), y un estimador de Potencial de demanda basado en la renta de la población (ωP_j).

Se entendería en este modelo el valor de los inmuebles como el precio máximo que la renta y la accesibilidad permiten afrontar a los habitantes de la comarca; de modo con-

Figura 6
Potenciales calculados



trario, se puede entender que la población se establece en las comarcas en función de su nivel de renta y posibilidades de accesibilidad a las zonas de mayor densidad y renta.

Potenciales considerados

— potencial¹: Modelos a) y b)

a) Distancia

Se tomará como potencial

$$V_i = G \cdot \sum_{j=1}^n \frac{P_j}{1+d_{ij}}$$

Donde:

V_i = Potencial en la ciudad i producido por las comarcas i a j (n comarcas).

G = Constante Gravitatoria (en este caso = 1).

P_j = Población de la ciudad que ejerce la interacción.

d_{ij} = Distancia en km y por carretera de la ciudad j a la ciudad i .

Para el cálculo del potencial de una ciudad sobre sí misma, se ha de introducir necesariamente una corrección, de lo contrario el potencial sería infinito (distancia = 0).

Se considerará, pues, que toda masa concentrada alrededor de i se encuentra a cierta distancia finita de i . Se ha optado por considerar como denominador $1 + d_{ij}$. Así, una ciudad ejerce sobre sí misma un valor equivalente a su propia población.

b) Tiempo

Se tomará como potencial

$$V_i = G \cdot \sum_{j=1}^n \frac{P_j}{1+d_{ij}}$$

Donde:

V_i = Potencial en la ciudad i producido por las comarcas i a j (n comarcas).

Cuadro 8
Resumen de potenciales

		Potencial^1	Potencial^2	Potencial_2
Amposta	distancia	81.190	55.816	162.935.153
	tiempo	87.575	55.846	179.871.997
El Vendrell	distancia	129.307	55.242	311.366.165
	tiempo	139.701	55.756	331.204.793
Falset	distancia	45.630	9.692	106.117.125
	tiempo	56.239	9.939	132.986.794
Gandesa	distancia	41.453	12.595	92.330.345
	tiempo	50.938	12.770	116.860.084
Montblanc	distancia	67.522	19.234	158.825.567
	tiempo	85.179	19.694	206.130.205
Mora d'Ebre	distancia	56.166	22.596	135.061.718
	tiempo	59.318	22.679	142.855.822
Reus	distancia	195.667	143.480	442.272.315
	tiempo	202.981	143.929	460.893.697
Tarragona	distancia	231.426	176.788	579.297.582
	tiempo	237.327	177.174	593.043.099
Tortosa	distancia	94.779	66.511	205.519.444
	tiempo	101.262	66.579	222.330.890
Valls	distancia	90.035	35.982	214.124.741
	tiempo	99.498	36.350	237.516.502

G = Constante Gravitatoria (en este caso = 1).

P_j = Población de la ciudad que ejerce la interacción.

d_{ij} = Tiempo por carretera de la ciudad j a la ciudad i.

— Potencial^2: Modelo c)

c) Potencial Población / Distancia al cuadrado

Se tomará como potencial

$$V_i = G * \sum_{j=1}^n \cdot P_j / (1 + d_{ij})^2$$

Donde:

V_i = Potencial en la ciudad i producido por las comarcas i a j (n comarcas).

G = Constante Gravitatoria (en este caso = 1).

P_j = Población de la ciudad que ejerce la interacción.

d_{ij} = Distancia en km (o en minutos) y por carretera de la ciudad j a la ciudad i.

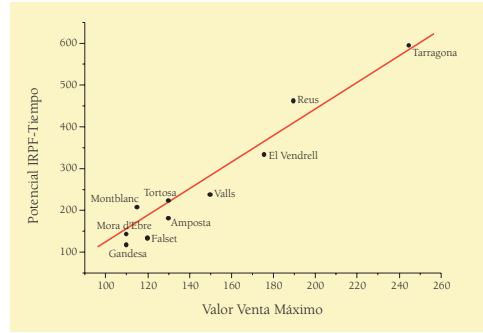
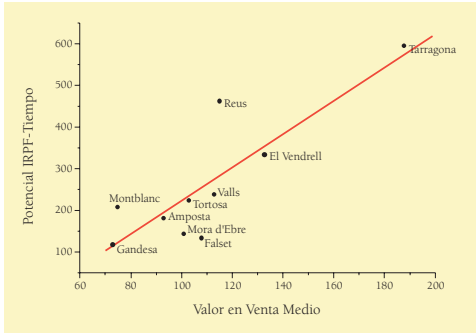
— Potencial_2: Modelo d)

Cuadro 9
Datos de mercado considerados*

	V _{máx}	V _{med}
Tarragona	245	188
Reus	190	115
El Vendrell	176	133
Valls	150	113
Tortosa	130	103
Montblanc	115	75
Amposta	130	93
Mora d'Ebre	110	10
Falset	120	108
Gandesa	110	73

* En miles pta/mt²

Figura 7
Correlaciones Potencial-Valores en Venta



d) *Potencial Población-Renta/distancia en tiempo*

Se tomará como potencial

$$V = G \cdot \sum_{j=1}^n (\omega_j P_j) / d_{ij}$$

Donde:

V = Potencial en la ciudad i producido por las comarcas i a j (n comarcas).

G = Constante Gravitatoria (en este caso = 1).

ω_j = Renta/habitante según IRPF96 de la capital de la comarca.

P_j = Población de la ciudad que ejerce la interacción.

d_{ij} = Distancia en km y por carretera (o en minutos) de la ciudad j a la ciudad (ver figura 6).

Correlación con el mercado

Se pretende finalmente determinar la correlación lineal de estos potenciales con eventuales valores de mercado inmobiliario.

Para ello tomaremos como valores los existentes en 1999, para Obra Nueva, valores que aparecieron en la prensa, desagregando entre valor máximo y valor medio (ver cuadro 9).

gando entre valor máximo y valor medio (ver cuadro 9).

Se ha tomado en todo caso el potencial relativo al modelo d) con tiempo.

Existe un mejor ajuste lineal con los datos relativos a valor máximo que con los de valor medio.

Podemos finalmente establecer correlación lineal entre el Potencial del modelo d) y los valores de mercado de la Obra Nueva (ver figura 7).

Para finalizar podemos concluir que la técnica descrita es una representación intuitiva no desarrollada plenamente a nivel teórico.

Esto lo demuestra el hecho de que no exista un marco que permita con seguridad establecer la ponderaciones en masa y distancia.

Tal indefinición conceptual (que se acentúa en el caso de que se trate de utilizarlo con finalidad inferencial) plantea una serie de problemas aún no resueltos. Sin embargo, en el campo del análisis exploratorio previo a la inferencia puede resultar de utilidad, pues parece detectar jerarquías territoriales a partir de datos muy accesibles (ubicación, renta y población). ■