

IMÁGENES DE LA MORFOLOGÍA URBANA EN EL ÁREA METROPOLITANA DE BARCELONA CON IMÁGENES LANDSAT TM.

L. SOLÉ¹ y P. SERRA².

¹"Institut de Ciències de la Terra Jaume Almera" del C.S.I.C. Barcelona.
²Departamento de Geografía. Universidad de Navarra. Pamplona.

RESUMEN

Es escasa la experiencia de la aplicación de imágenes de satélite al estudio interno de la ciudad o de un área metropolitana, con discriminación de clases de ocupación del suelo o la distinción de diferentes áreas de morfología urbana según criterios de densidad, de textura, etc. En este trabajo se muestran los resultados del estudio de estos aspectos en el Área Metropolitana de Barcelona, a través de dos imágenes multiespectrales de diferentes fechas y años.

ABSTRACT

The is no long experience of the application of satellite images to the internal study of the city or of a metropolitan area, like the classes discrimination of land occupation or the distinction of different areas of urban morphology under criteria of density or texture, etc. The results of the study of these aspects in Barcelona Metropolitan Area through two different images are outlined in this paper.

1. EL CRITERIO MORFO-GENÉTICO DE CLASIFICACIÓN DE TEJIDOS URBANOS

Como punto de partida de clasificación, hemos pensado, siguiendo a otros autores (Busquest, 1985), que en el área de Barcelona se da una efectiva coincidencia de morfología urbana y su momento histórico. Dicho de otro modo: cada época histórica tiene su modo de hacer ciudad, un planeamiento urbanístico tal vez, un estilo urbanístico propio. Por tanto, hemos intentado respetar este criterio morfogenético en la clasificación de los tejidos o tramas urbanas a través de la fotografía aérea (Sabate, 1981).

Consideramos la morfología de un área urbana o barrio como una realidad que comprende varios aspectos (siguiendo en parte a Precedo, 1980):

- **el tejido urbano o trama**, reticular u ortogonal, radioconcéntrico, irregular, etc.
- **el entramado**, cerrado abierto, regular o irregular.
- **la densidad**: porcentaje de suelo ocupado por edificaciones respecto al total de la superficie.
- **la textura**, homogénea o heterogénea, según las formas y los tamaños de las edificaciones.
- **el granulado**, fino o grueso.
- **las tipologías edificatorias residenciales**: bloque, torre, vivienda unifamiliar, exenta o adosada, etc.

2. DELIMITACIONES DE LOS DISTINTOS TIPOS DE TEJIDOS RESIDENCIALES EN EL ÁREA DE BARCELONA

Con todos los medios disponibles, hemos realizado una **clasificación de los tejidos urbanos** de la ciudad, de mane-

ra que fuesen la pauta para la fotointerpretación y clasificación digital de las imágenes de satélite. Este paso es fundamental. No debíamos "leer" o intentar leer una imagen de satélite sin conocer al máximo la realidad terreno previamente.

Siguiendo los criterios del anterior punto hemos distinguido varios tipos de tramas en el área de Barcelona:

Trama irregular densa del Casc Antic con manzanas irregulares y asimétricas. Sobre esta trama se abrieron el siglo pasado dos vías perpendiculares que atravesasen el barrio. La tipología edificatoria es frecuentemente de entremedianera de cinco plantas.

Trama reticular del s. XIX. "Es la trama propia de los antiguos núcleos municipales independientes de Barcelona..., con ensanches de tipo reticular" (Bonafant, 1978). Podríamos distinguir aquí dos variedades (Busquets y otros, 1985):

- a) Tramas densas
- b) Tramas poco densas

Trama reticular del Ensanche de Cerdá. La enorme malla ortogonal del Eixample de Cerdá se distingue perfectamente de las pequeñas retículas del grupo anterior, por el tamaño de las manzanas, la anchura de sus calles y avenidas, etc.

Trama irregular de baja densidad con vegetación. Incluímos aquí dos áreas, Pearson y Pedralbes, las cuales, aún teniendo diferentes tipologías edificatorias, tienen en común, una trama sin una dirección formas y amplios espacios libres, como jardines públicos o privados.

Trama irregular de baja densidad marginal. Todas las unidades agrupadas aquí están situadas en desniveles, la

mayoría con orientación noroeste, por tanto, de espaldas a la ciudad. Algunas corresponden a áreas de urbanización marginal, al pie de la Sierra de Collserola (Tibidabo) con numerosas viviendas unifamiliares autoconstruidas adosadas. En otros casos se da una gran heterogeneidad de las tipologías edificatorias, pero por lo general predomina la vivienda unifamiliar exenta.

Polígonos de viviendas. Corresponden históricamente a aquellas actuaciones urbanísticas residenciales masivas realizadas desde 1929 en el Área Metropolitana de Barcelona. Los distintos polígonos tienen, formalmente, rasgos que los distinguen claramente entre sí: los hay con pocas alturas, hasta cuatro plantas y con muchas alturas. También se pueden clasificar según el porcentaje de suelo no edificado, etc. Nos hemos limitado aquí a mostrar su localización para no multiplicar las categorías del mapa de tramas urbanas que adjuntamos.

A continuación, presentamos un mapa del A.M. de Barcelona con la ubicación de más de un centenar de áreas morfológicas urbanas (Figura 1). Asimismo, la imagen en falso color de la misma área de agosto de 1988, con los contornos de las tramas superpuestos (Imagen 1).

3. LA IDENTIFICACIÓN VISUAL DE LAS DIFERENTES MORFOLOGÍAS URBANAS EN LA FOTOGRAFÍA AÉREA Y EN LAS IMÁGENES DE SATELITE

Como decíamos, las morfologías residenciales se aprecian de manera diferente en la fotografía aérea y en las imágenes de satélite. Pueden darse diferencias también entre dos imágenes, como la luminosidad de una imagen de primavera y otro de verano.

Seguidamente, a través de esquemas, estudiaremos la "perceptibilidad" de las principales morfologías residenciales del A.M. de Barcelona en los pares estereoscópicos de 1987, y en las imágenes T.M. de primavera de 1985 y de verano de 1988, (Tabla 1). Estudiaremos cada uno de los seis aspectos en que hemos descompuesto el concepto de morfología para cada tipo de trama.

Vemos, por tanto, la diferencia cualitativa entre la expresividad de la fotografía aérea a mediana escala (1:22.000) y la pobreza de las imágenes de satélite. Este hecho lleva a que la leyenda para la identificación visual de tejidos urbanos sea mucho más pobre a través de las imágenes de satélite.

Se dan diferencias también entre las dos imágenes, como comentábamos en otros apartados. La menor presencia de sombras y la mayor luminosidad de la imagen de verano de 1988 hace que se distingan mejor los tejidos residenciales en ésta que en la imagen de primavera de 1985.

4. CLASIFICACIÓN DIGITAL O RECONOCIMIENTO AUTOMÁTICO DE LAS TRAMAS RESIDENCIALES DEL A.M. DE BARCELONA EN LAS IMÁGENES T.M.

4.1. Metodología.

Desestimada la imagen de primavera de 1985, realizamos la

identificación automática de los tejidos residenciales en la imagen de 1988.

El procedimiento a seguir en esta clasificación digital ha seguido las mismas fases que en la clasificación anterior de ocupación del suelo: establecimiento de la leyenda de clases, reconocimiento espectral de las áreas de entrenamiento, clasificación, etc.

4.2. Identificación visual de cuatro clases o tipos de trama, punto de partida para su reconocimiento automático (clasificación digital).

Para el clasificado de tejidos residenciales había que buscar un número de clases que fuese coherente con identificación visual de éstas en la imagen en falso color de la mejor imagen en falso color, la de verano de 1988 (recordemos que la clasificación digital sigue cauces análogos a los que se emplean en foteointerpretación).

Los distintos tipos de tejidos, es decir, las clases de la leyenda, debían guardar alguna relación en las imágenes con los tejidos que nosotros previamente conocíamos. Este criterio o relación no podía ser otro que el de la **densidad**, aspecto de la morfología urbana que mejor se discrimina en la imagen de 1988 en falso color. Estas densidades "debían" ser en orden decreciente:

1. **áreas densas**, que debían corresponder tanto al Casc Antic, como a las tramas reticulares densas y poco densas del siglo XIX, apreciándose en la imagen en falso color efectivamente masas **compactas y homogéneas** de píxeles en tonos rosáceos en los distintos barrios "densos".

2. **áreas de densidad mediana**, donde la participación del espacio no edificado (calles, sobre todo) sobre el total es mayor. Este criterio tenía especial validez para gran parte del **Ensanche** barcelonés, donde se dan áreas de píxeles **menos compactas** debido a la importancia de las calles (en color gris verdoso en la imagen en falso color de 1988).

3. **áreas de baja densidad**, donde es elevado el porcentaje de suelo no edificado (destinado sobre todo a viales y a plazas más o menos ajardinadas o incluso, descampados de arena). Esta clase debía corresponder con aquellos **polígonos residenciales** en los que efectivamente donde el porcentaje de suelo libre de edificación es alto.

4. una cuarta clase la constituyen aquellas tramas residenciales donde es **alta la participación de la vegetación**. En principio, las áreas más fácilmente identificables como tal por su compacidad y homogeneidad son aquellas que hemos denominado como **tramas irregulares de baja densidad**, Pearson y Pedralbes.

Vemos, sin embargo, que se dan otras tramas, reticulares de baja densidad, como la Bonanova o irregulares, como ciertas áreas del Carmel, en las que se da una importante presencia de la vegetación.

4.3. En busca de un criterio textural para clasificación digital.

Como señalábamos arriba existen dos clases de aspecto poco compacto, heterogéneas, por tanto: el **Ensanche** y los **polígonos de menor densidad de edificación**.

Tabla 1.- Morfología de tramas urbanas.

		Foto aérea	Imagen BB	Imagen BB
1. Irregular densa del caso Antio	tejido entramado densidad textura granulado tipol edif	irregular cerrado alta homogénea g r u e s o entramedian.	? ? alta heterogénea ? ?	? ? alta homogénea ? ?
2. trama reticular densa del s. XEX	t e j i d o entramado densidad textura granulado tipol edif	reticular cerrado alta homogénea grueso entramedian.	? cerrado alta heterogénea ? ?	? cerrado alta homogénea ? ?
3. trama reticular poco densa del s. XIX	t e j i d o entramado densidad textura granulado tipol edif	reticular cerrado mediana homogénea grueso entramedian.	? cerrado mediana heterogénea ? ?	? cerrado mediana homogénea ? ?
4. trama reticular baja densidad (Ensanche)	tejido entramado densidad textura granulado tipol edif	reticular cerrado mediana homogénea grueso entramedian.	reticular cerrado mediana homogénea ? ?	reticular cerrado mediana homogénea ? ?
5. trama irregular de baja densidad con vegetación	tejido entramado densidad textura granulado tipol edif	irregular abierto baja homogénea grueso bloque y unif.	irregular ? baja homogénea ? ?	irregular ? baja homogénea ? ?
6. trama irregular baja densidad marginal	tejido entramado densidad textura granulado tipol edif	irregular entramado alta homogénea grueso unifamiliares	irregular cerrado alta homogénea ? ?	irregular cerrado alta homogénea ? ?
7. polígonos de viviendas de baja altura	tejido entramado densidad textura granulado tipol edif	regular abierto baja homogénea fino unifamiliares	? ? baja homogénea ? ?	? ? baja homogénea ? ?
8. polígonos de viviendas de mediana altura	tejido entramado densidad textura granulado tipol edif	regular abierto baja homogénea fino bloques	? ? baja homogénea ? ?	? ? baja homogénea ? ?
9. polígonos de viviendas masiva	tejido entramado densidad textura granulado tipol edif	regular abierto baja homogénea grueso bloques/torres	? abierto baja homogénea ? ?	? abierto baja homogénea ? ?

Este hecho implicaba un problema cara a la clasificación digital, y es que los píxeles de edificaciones de estas dos clases, similares en sus valores digitales, fueran asignados a una tercera clase, la de **áreas densas**.

Era, por tanto, necesario, obtener una nueva imagen o seudo-imagen en que los aspectos que configuran al Ensanche y a los polígonos de baja densidad, apareciesen **no se-**

parados (como en la imagen en falso color: edificaciones y espacios libres), sino, en cierto modo **fundidos**. Para este fin nos decidimos, por el llamado filtro "**rank operator**", o "**median filter**", puesto que ya había sido utilizado para una experiencia similar de clasificación digital de áreas residenciales en el área de París con resultados positivos (F.A., Armand y Fernández, 1987).

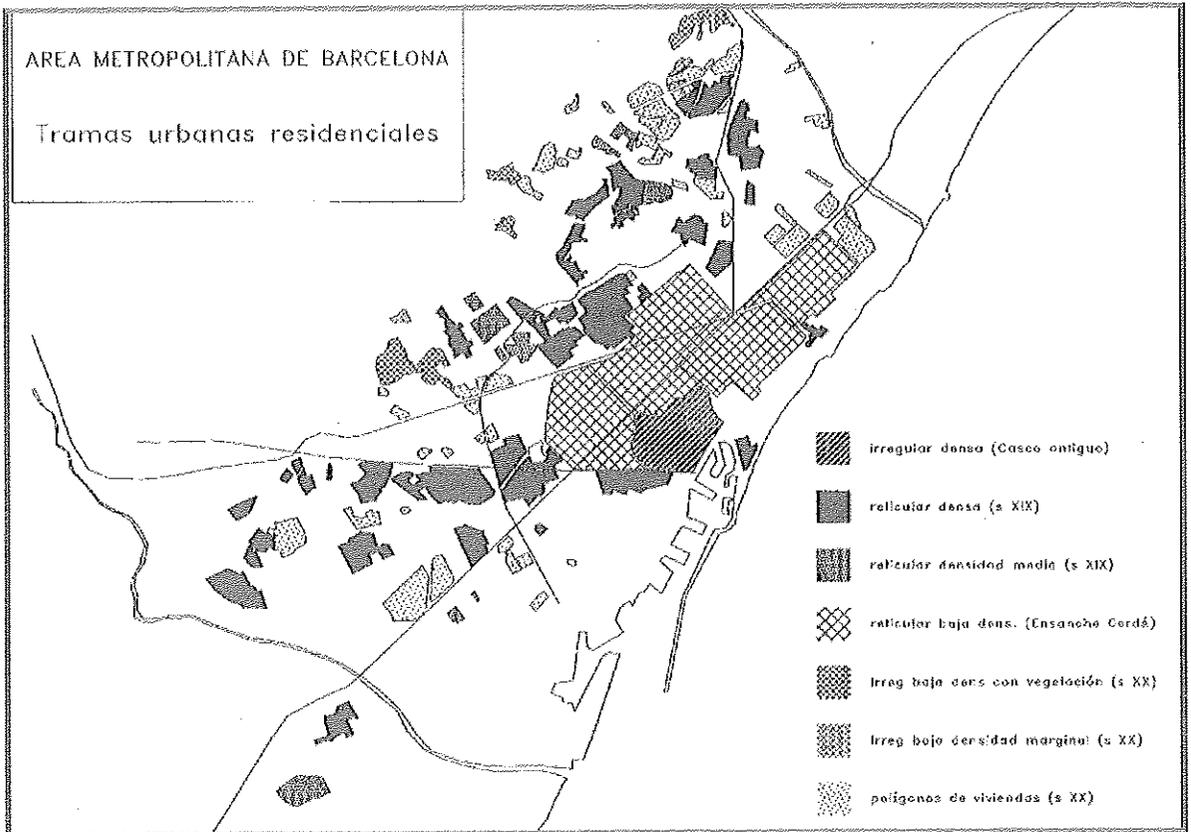


Figura 1.

Con la aplicación de este filtro sobre las imágenes TM hemos conseguido obtener un criterio que tenga en cuenta el **contexto** de cada píxel cara a una **clasificación textural o de tejidos**.

Utilizamos la matriz de 3x3 píxeles de lado. A continuación, había que elegir el "rank operator", para optar por un efecto similar a los filtros de bajo paso (tomando un rango bajo) u optar por un efecto similar a los filtros de alto paso (tomando un rango alto). En nuestro caso tomamos un rango bajo, o sea, el valor 1. De esta manera atribuirá al píxel central el nivel de gris más bajo de la matriz del filtro.

El sentido de la aplicación de este filtro es clave. En el caso de la clase de áreas de mediana densidad o Ensanche (no tiene por que ser justo en el centro de la manzana). En la matriz se encontrarán algunos píxeles correspondientes a calles (con valores digitales bajos, es decir, de colorido oscuro, grisáceo) y otros píxeles correspondientes a edificaciones (con valores digitales más altos).

Por tanto, el valor más bajo (el de las calles) será el que pase a predominar en todo el área del Ensanche. De esta manera, conseguimos, de una manera automática, **homogeneizar** "por abajo" un área que en la imagen en falso color veíamos como heterogénea.

En otras palabras, hemos provocado la **participación del aspecto diferenciador** de la trama Ensanche, el tamaño y colorido grisáceo de las **calles** dentro del aspecto común con las demás clases, las edificaciones, **fundiendo** los dos aspectos para tratar de obtener una clase con unos niveles digitales homogéneos y fácilmente incluíbles en un mismo grupo.

En el caso los polígonos de alta participación de suelo libre de edificación, el proceso es similar, pero contrario. Las edificaciones, de menos valor digital en comparación con el suelo, (frecuentemente en colores blanquecinos) determinarán los niveles digitales predominantes, tras el paso del filtro "rank operator".

El filtro apenas habrá modificado las otras dos clases, pues, al ser bastantes homogéneas, no hay grandes diferencias de niveles digitales entre unos píxeles y otros.

4.4. Reconocimiento espectral de las cuatro clases o tipos de trama.

Para este punto tomamos un número indefinido de áreas de entrenamiento correspondientes a las cuatro clases. Tras reconocer la información estadística de esas áreas de entrenamiento en cada uno de los siete pseudo-canales T.M. (tras el

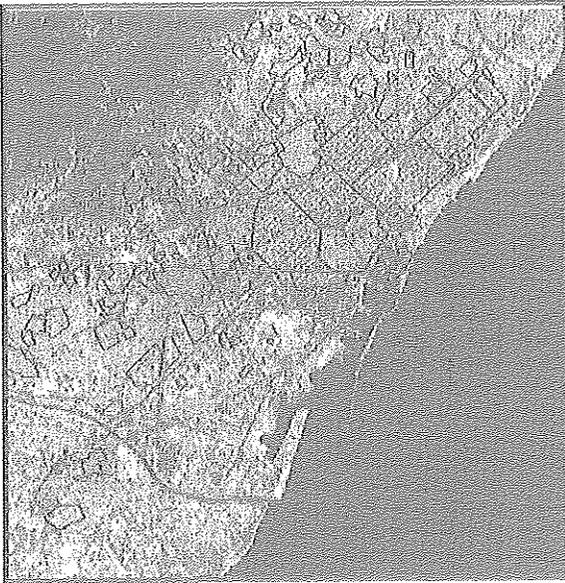


Imagen 1.- Barcelona, agosto 1988. Véase Anexo de color.

paso del filtro "rank operator") obtuvimos las siguientes conclusiones:

- entre los siete canales, el 3, el correspondiente al color rojo, era el que ofrecía una mejor **discriminabilidad** entre las cuatro "supuestas" clases. En los otros se daba, en mayor o menor medida, un solapamiento, de manera que, cara a la clasificación digital, que sólo reconoce niveles digitales, todos los canales salvo el 3 hubieran dado lugar a importantes confusiones de atribución de los píxeles en cada una de las clases.
- entre las diferentes áreas de entrenamiento escogidas, había una más **representativa y homogénea** en cada una de las cuatro clases.

De esta manera se expresa gráficamente la discriminabilidad de las áreas de entrenamiento seleccionadas finalmente:

```

*** 1
**** 2
***** 3
*** 4
  
```

0 50 100 150 200 250

(en el eje de abscisas, graduación de niveles digitales posibles en las imágenes de satélite: de 0 a 255).

- 1 áreas densas (Casc Antic, reticulares del siglo XIX)
- 2 áreas de densidad media (Ensanche)
- 3 áreas de baja densidad (polígonos con alto % de suelo libre)
- 4 áreas de baja densidad con presencia de vegetación (Pedralbes, etc).

Como se ve, se da una cierta gradación de valores digitales, de menos a más, desde la clase 4, 2, 1 hasta la 3. Es esta última precisamente, la más heterogénea, por cuanto tiene más desviaciones estándares que las otras.

4.5. Segmentación manual para la clasificación final.

Dado que existe una buena separabilidad entre las cuatro clases, decidimos tomar el valor digital máximo y mínimo de cada clase (teniendo en cuenta las desviaciones típicas también) y asignar a cada grupo un valor de gris a color arbitrario. Dadas las limitaciones de espacio para imágenes en color, no hemos podido incluir el clasificado.

5. VALORACIÓN DE LA CLASIFICACIÓN DIGITAL. ¿SE PUEDE HABLAR DE UN RECONOCIMIENTO AUTOMÁTICO DE TEJIDOS RESIDENCIALES?

Las clases de **áreas densas** (en color naranja) pensamos que es la que ha quedado mejor configurada. Efectivamente, muchos píxeles correspondientes al Casc Antic, tramas reticulares densas y poco densas del siglo XIX, como Sarrià, Gracia, Hospitalet, Poble Sec, Santa Eulalia, Collblanc, Camp de l'Arpa, Guinardó, etc., han quedado bien clasificadas por lo general.

Las **áreas de densidad mediana** (en color verde claro), que hemos pretendido corresponder con la trama del ensanche, predominan sobre todo en el centro del Ensanche, precisamente donde se han mantenido mejor los rasgos morfológicos propios del Ensanche. En las partes del Ensanche más a Levante donde se pierden esos rasgos morfológicos, y donde, se da más heterogeneidad y confusión en la clasificación digital.

Las **áreas edificadas con abundancia de vegetación** (en color verde oscuro) aparecen en los píxeles correspondientes a la trama irregular de baja densidad (Pedralbes y Pearson), como habíamos pensado. Aparecen también en buena parte de las dos áreas de la Bonanova, una trama reticular de baja densidad y en parte de los polígonos de "open planning", junto a la Diagonal, de edificación abierta racionalista exenta y con alto grado de suelo no edificado y sí ocupado por una cuidada vegetación.

Por último, las **áreas de baja densidad de edificaciones** (en color negro), la cual queríamos hacer corresponder con polígonos de viviendas con alto porcentaje de suelo no edificado ni con vegetación, ha quedado peor configurada de lo que esperábamos. Tal vez ha influido en esta dificultad de ser reconocida esta morfología, la variedad de texturas y de tipologías edificatorias en estos polígonos: bloques exentos o agrupados, bloques laminares con o sin patios, mezclas de todo tipo de elementos....

¿Podemos hablar entonces de reconocimiento automático de tejidos residenciales? Pensamos que sí, pese a las dificultades que hemos comentado. Tal vez las imágenes del satélite Landsat no han añadido nada especialmente nuevo a nuestro conocimiento del Area Metropolitana de Barcelona, pero sí hay que reconocer que nos han ofrecido un espectacular y diferente "punto de vista".

6. BIBLIOGRAFIA

- ✓ BONA, R.; COSTA, J.: *Sòl urbà i classes socials: materials per a una política municipal*. Fundació Jaume Bofill, editorial Blume, Barcelona, mayo de 1978.
- ✓ BUSQUETS, J.; FERRER, A.; CALVET, L. (1985): *Evaluación de las Necesidades de Rehabilitación*. Dirección General de Acción Territorial y Urbanismo, M.O.P.U., Madrid.
- ✓ ARMAND, M.; HERNANDEZ, M., (1987): "Vers une identification automatique des tissus urbains" *Bulletin de la Société Française de Photogrammétrie et Télédétection*, nº 106, pp. 5-22.
- ✓ PRECEDO LEDO, A. (1979-1980): "Un ensayo de síntesis y tipificación de la morfología urbana mediante la Fotografía Aérea". *Geographica*, vol. XXI-XXII, págs 173-183.
- ✓ SABATE, A. (1983): "Análisis de áreas urbanas residenciales mediante fotografía aérea". *VII Coloquio de Geografía (Pamplona, 29 de Septiembre al 2 de Octubre de 1981)*, Ponencias y Comunicaciones, tomo II, pp. 437-440.
- ✓ CHUVIECO SALINERO, E. (1990): *Fundamentos de Teledetección espacial*. Rialp, Madrid.
- ✓ SOLE SUGRAÑES, L.; MARTÍNEZ ALONSO, S.E.; LORENZO, R.; CATASUS, X. (1988): "Utilización de la información estructural en aplicaciones de teledetección en medios urbanos". Institut de Geologia "Jaume Almera" (C.S.I.C.) y Microm España, S.A. Barcelona.