

Biblio3W

REVISTA BIBLIOGRÁFICA DE GEOGRAFÍA
Y CIENCIAS SOCIALES
Universidad de Barcelona.
ISSN: 1138-9796.
Depósito Legal: B. 21.742-98
Vol. XXIII, núm. 1.225
25 de enero de 2018



Tratamiento de cartografía histórica para el análisis de la forma urbana en sistemas de información geográfica

Jorge Solanas-Jiménez
Universitat de Lleida
solanas@geosoc.udl.cat

Tratamiento de cartografía histórica para el análisis de la forma urbana en Sistemas de Información Geográfica (Resumen)

El estudio histórico de la ciudad está condicionado por la disponibilidad de fuentes de información fiables y accesibles. Es habitual el uso de cartografía histórica cuando se trata de análisis de una o pocas ciudades. Sin embargo, cuando la muestra es elevada, suele recurrirse al análisis de la población urbana, dejando de lado el espacio físico que ocupa la ciudad debido a la dificultad para obtener información. En el presente trabajo se presentan varios métodos de tratamiento de la cartografía histórica a través de Sistemas de Información Geográfica (SIG) que permiten mejorar el análisis en muestras pequeñas y la creación de grandes bases de datos históricas, añadiendo una nueva variable al estudio histórico urbano.

Palabras clave: Forma urbana, Cartografía histórica, SIG, urbanismo

Treatment of historical cartography for the analysis of urban form in Geographic Information Systems (Abstract)

The historical study of the city is conditioned by the availability of reliable and accessible sources of information. It is habitual to use historical cartography when analysing either one or only a few cities. However, when the sample is larger, it is usual to resort to the analysis of urban population, leaving aside the physical space occupied by the city due to the difficulty in obtaining information. In the present work, we present several methods for treating historical cartography using Geographic Information Systems (GIS) which allow us to improve the analysis in small samples and to create large historical data bases, thereby adding a new variable to studies of urban history.

Keywords: Urban form, Historical cartography, GIS, urban planning

Recibido: 8 de noviembre de 2017
Devuelto para revisión: 15 de noviembre de 2017
Aceptado: 5 de diciembre de 2017

El modo en el que se han abordado los estudios sobre la forma urbana y la evolución de las ciudades varía en función de los datos utilizados. Por ejemplo, la variación de la población en las ciudades ha sido analizada en multitud de ocasiones y ha servido para establecer modelos teóricos para la evolución urbana¹. El análisis de los movimientos demográficos sirve para establecer patrones de concentración y dispersión de la población en áreas urbanas a lo largo de la historia. La relativa facilidad de adquisición de los datos demográficos ha permitido que este tipo de estudios se realicen para muestras enormes de ciudades en regiones de todo el mundo.

Sin embargo, si se pretende estudiar el espacio físico que ocupa la ciudad y su morfología urbana, es necesario recurrir a fuentes de información que representen la ciudad sobre el espacio. Estas fuentes serán más o menos fiables y fáciles de encontrar dependiendo del periodo histórico. Así pues, actualmente se pueden encontrar bases de datos espaciales muy precisas que representen varios aspectos de las ciudades, imágenes de satélite de alta resolución, fotografías aéreas, etc. Para periodos anteriores a la realización de vuelos regulares hay que recurrir a la cartografía urbana histórica, lo que conlleva una serie de limitaciones y dificultades.

Los trabajos basados en el análisis de cartografía urbana histórica son diversos y presentan grandes diferencias en cuanto al método de análisis. Por un lado, son habituales los estudios que realizan un análisis visual de algunos planos. Menos comunes son las investigaciones que trabajen con la información de los planos y mapas de forma sistemática y cuantitativa. Esto es debido a la dificultad de extracción de la información para generar series temporales amplias. Varios ejemplos de trabajos que han llevado a cabo un tratamiento sistemático y comparativo de las fuentes históricas provienen del estudio de la morfología urbana portuguesa, como Ferreira² y Fernandes³, que redibujan mapas históricos para remarcar las características esenciales de la forma urbana.

Más complejos resultan los estudios de Oliveira y Pinho⁴, que analizan mediante SIG la forma urbana de las ciudades de Lisboa y Oporto desde el siglo XIX, para lo que también redibujan los planos y los mapas históricos en un formato adecuado para los SIG. Estos trabajos parten de la georreferenciación de los planos antiguos y se apoyan en cartografía moderna para la reconstrucción de la ciudad histórica.

Sobre la utilización de SIG para el estudio de la forma urbana, Moudon⁵ consideró este tipo de herramientas como las más adecuadas, ya que permiten el paso del estudio particular de la ciudad a análisis comparativos. Disponer de modelos urbanos en SIG permite la utilización de herramientas de análisis espacial, pudiendo medir varios parámetros y relacionarlos con otros datos. Además, la simplicidad y limpieza con la que se visualizan los datos facilita el análisis de la forma urbana y la comparativa entre ciudades o distintos periodos, ya que todas las fuentes se muestran a la misma escala y orientación.

¹ van der Berg *et al.*, 1982; Antrop, 2004.

² Ferreira, 1995

³ Fernandes, 2002

⁴ Oliveira y Pinho, 2006; Pinho y Oliveira, 2009.

⁵ Moudon, 1997; Moudon; 1998.

La utilización de SIG para la gestión del espacio urbano y su planificación es habitual⁶. Sin embargo, para poder realizar análisis urbanos históricos es necesario procesar la información de la cartografía histórica para adecuarla a los formatos compatibles. Una tarea compleja y en ocasiones muy costosa.

El objetivo de este trabajo es presentar los métodos que permitan el trabajo en SIG con cartografía y planos históricos para el estudio de la evolución de la morfología urbana⁷. Las opciones metodológicas que se discuten son las que los distintos autores se han planteado para abordar esta temática. Dada la diversidad de referencias, es probable que existan otros métodos no detectados ni tenidos en cuenta en este artículo, aunque sí se han reunido las soluciones más lógicas o las que pueden considerarse más óptimas o con un resultado de mayor calidad.

Algunos trabajos en esta línea han surgido a partir del proyecto de investigación ‘Paper and Virtual cities’, de la universidad de Maastricht y Groningen. Dentro de este marco se encuentran los trabajos de Benavides, que analiza la precisión de los planos y de la cartografía antigua⁸ y la metodología para tratar las fuentes históricas en SIG⁹. Sin embargo, esta metodología se basa en la georreferenciación de los planos y mapas históricos, por lo que el tipo de dato obtenido no permite sacar el máximo potencial al uso de SIG. Como apuntan Rumsey y Williams¹⁰, para consultar o medir relaciones espaciales entre entidades, éstas deben ser extraídas de los mapas históricos y convertidas a capas SIG vectoriales. En la figura 1 se representa un plano de San Sebastián georreferenciado, en el que pueden medirse distancias o superponer otra información, y una capa vectorial con la información de manzanas urbanas extraídas del mapa, sobre la que se puede operar de diversas formas en SIG.



Figura 1. Diferencias entre formatos. A la izquierda, plano de San Sebastián georreferenciado. A la derecha, información vectorial extraída del plano.

⁶ Stevens *et al.*, 2007 ; Fernandes *et al.*, 2008.

⁷ Este artículo ha sido realizado en el marco de dos proyectos de investigación: Jean Monnet 586912-EPP-1-2017-1-ES-EPPJMO; (2) Ministerio de Economía y Competitividad, CSO2015-65733-P.

⁸ Benavides, 2004.

⁹ Benavides, 2014.

¹⁰ Rumsey y Williams, 2002.

Fuente: Elaboración propia con plano publicado en ROCAFORT, C. y DALMAU, C. *España Regional*. Editorial Casa Alberto Martín. 1919. Escala- 1:7.000

Así pues, si se pretende optimizar la capacidad analítica que ofrecen los SIG, hay que digitalizar los mapas históricos o transcribir la información que aportan a bases actuales. El método más adecuado para ello dependerá de varios factores, como el número de ciudades a analizar, el número de planos y mapas disponibles, así como la cantidad de tiempo y recursos que los investigadores estén dispuestos a dedicar a esta tarea.

Las posibilidades de análisis que se abren son múltiples. Combinando la información espacial histórica con censos de población puede calcularse la densidad de población urbana, indicador ampliamente utilizado como medidor de la compacidad¹¹. Con la modelización de series históricas puede analizarse el crecimiento urbano a través del espacio y el tiempo. Las relaciones de los cambios que han sufrido las ciudades con otros factores, como la topografía o las vías de comunicación pueden servir para establecer modelos de crecimiento urbano y mejorar la planificación del espacio actual.

En los siguientes apartados vamos a ver, en primer lugar, las características que deben presentar los planos y mapas históricos para que sean válidos para el estudio de la forma urbana. A continuación, se presentan tres métodos de trabajo para tratar los archivos originales en SIG. Por último, un método de homogeneización con fuentes de información actuales sobre el espacio ocupado por las ciudades para conseguir series históricas comparables.

Características de los planos urbanos históricos

A lo largo de la historia, la ciudad ha sido representada de diversas formas, desde dibujos a vista de pájaro a planos ortogonales, variando con la técnica las formas de representación y su precisión. Para una correcta lectura de las transformaciones y ampliaciones de la ciudad, es necesario que sobre el plano puedan identificarse las manzanas urbanas y las calles, por lo que no todos los documentos cartográficos son válidos.

Atendiendo a la clasificación de formas de representación de la ciudad que propone San-Antonio-Gómez¹², se consideran válidos para el estudio de la morfología urbana tres tipos de planos: proyección ortogonal, perspectiva militar del eje z vertical y perspectiva militar del eje z oblicuo. El resto de vistas y perspectivas resultan confusas y su introducción en SIG conllevaría muchos errores. En la figura 2 se muestran dos ejemplos de formas de representación válida.

En cuanto a la escala de los planos, ésta puede variar mucho entre los que dispongan de una misma ciudad. Por ello conviene establecer un límite en el mínimo (la de menor precisión), aunque una escala muy grande (mayor precisión) también puede generar ciertos problemas, como veremos más adelante. Para el mínimo, diferenciar las manzanas y calles es lo que debe marcar el límite. En otros trabajos realizados por el equipo¹³ se fijó el límite en 1:50.000 con el objetivo de utilizar los mapas topográficos españoles de la serie básica. En esta serie se pueden identificar calles y manzanas, pero

¹¹ Pont y Haupt, 2010; Navarro Vera y Ortuño Padilla, 2011.

¹² San-Antonio-Gómez, 2006.

¹³ Solanas Jiménez J. *et al.*, 2015; Álvarez-Palau, E. *et al.*, 2016.

se ha acudido a esta escala solo cuando no existieran otras fuentes disponibles más precisas, ya que el tamaño de las ciudades a esa escala puede resultar pequeño sobre el mapa y puede dar lugar a algunos errores.



Figura 2. Ejemplos de formas de representación válida. A la izquierda, plano de Valencia de 1704 (plano del padre Tosca) con perspectiva militar del eje z vertical. A la derecha, plano de Alicante del libro ROCAFORT, C. y DALMAU, C. *España Regional*. Editorial Casa Alberto Martín. 1919. En proyección ortogonal. Fuente: Elaboración propia.

Una característica de los planos históricos es que son documentos antiguos de gran valor y como tales son conservados en archivos, bibliotecas y colecciones, lo que supone ciertas limitaciones para su consulta¹⁴. Debido a esto, hay que utilizar los planos en formato digital, es decir, copiados mediante escáner o cámaras digitales. Afortunadamente la mayoría de archivos históricos y bibliotecas disponen de gran parte de su catálogo ya digitalizado y de medios para digitalizar en los casos en los que solo dispongan del documento original.

La digitalización ha de resultar lo más fiel posible al original y con una resolución adecuada para evitar pérdida de información. Algunos planos a escalas muy grandes pueden presentar dificultades a la hora de ser digitalizados debido al tamaño de los originales. Rumsey y Williams¹⁵ ponen como ejemplo de dificultad a la hora de digitalizar los planos de Nueva York de J. H. Colton (Topographical Map of the City and County of New-York, 1836) y Matthew Dripps (Map of the City of New York, 1852). La escala es tal que los archivos originales miden 74 x 180 cm, y 117 x 224 cm respectivamente. No obstante, ambos planos se han conseguido digitalizar.

Otra característica a tener en cuenta de los planos y mapas históricos es la calidad de las representaciones cartográficas. Es evidente que los métodos de levantamiento cartográfico no siempre han sido tan avanzados como en la actualidad, por lo que la cartografía antigua no será tan precisa como la actual. La calidad varía de unos planos a otros dependiendo de diversos factores, como la habilidad del cartógrafo o el motivo del

¹⁴ Benavides, 2004.

¹⁵ Rumsey y Williams, 2002.

levantamiento. Por ejemplo, los planos elaborados con propósitos técnicos y públicos tendrán en general mayor precisión que los publicados con fines divulgativos¹⁶. Estas posibles imprecisiones tendrán su impacto en los diversos métodos tratados a continuación.

Metodología

Como se ha comentado anteriormente, los métodos para adecuar la información de los planos y mapas históricos a los SIG son varios. En este estudio se han valorado tres formas distintas con las que el investigador puede solventar este asunto dependiendo del objetivo y las características del trabajo que lleva a cabo. Estas son la georreferenciación, la digitalización y la transcripción. Cada una de ellas presenta sus virtudes y defectos, por lo que no se puede concluir cuál resulta más eficaz, sino que hay que utilizar la más adecuada según las necesidades en cada caso.

Georreferenciación

La georreferenciación es la forma más básica para introducir planos y mapas históricos en un SIG, aunque no por ello está exenta de dificultades. Como se ha comentado anteriormente, lo más común a la hora de trabajar con fuentes cartográficas históricas es obtener una copia digital. El investigador tiene entonces la opción de analizar el archivo visualmente sin realizar ningún tipo de procesado, pero si quiere realizar un análisis espacial básico, como mínimo la copia digital deberá georreferenciarse.

El método consiste en asociar varios puntos de control de la imagen digital con coordenadas conocidas, adaptándose a ellas mediante una deformación si es necesario (rubber sheeting). Hay que tener presente que este método implica una serie de dificultades que en ocasiones son muy difíciles de subsanar. Rumsey y Williams¹⁷ apuntan que es muy difícil alinear con exactitud un mapa antiguo con un sistema de coordenadas moderno debido a las imprecisiones en cuanto a escala, ángulo, distancia y dirección. Podemos considerar que este tipo de errores son consubstanciales con la utilización de planos históricos hasta que apareció la fotografía aérea.

Disponer de los planos históricos georreferenciados en un SIG permite al usuario utilizar otras fuentes para contextualizar la información cartográfica, lo cual enriquece el análisis. En esta línea, el usuario podrá superponer otro tipo de información espacial al plano histórico objeto de estudio, como otro plano histórico o una capa vectorial de calles, por ejemplo (figura 3). Otra de las ventajas de la georreferenciación es que permite realizar medidas de distancias y áreas sobre la cartografía histórica, incluso diferencia de cotas cuando se combina con un modelo digital de elevaciones.

Sin embargo, este método no permite manipular ni operar con la información representada en el plano histórico. El archivo resultante sigue siendo la copia digital de la fuente original, aunque con deformaciones de mayor o menor grado dependiendo de la semejanza de la representación con la realidad.

¹⁶ Benavides, 2004

¹⁷ Rumsey y Williams, 2002.



Figura 3. Superposición de información vectorial en plano georreferenciado. Trazado de calles actual sobre plano de San Sebastián de 1919. Fuente: Elaboración propia con bases de Cartociudad (IGN) y plano publicado en ROCAFORT, C. y DALMAU, C. *España Regional*. Editorial Casa Alberto Martín. 1919. Escala- 1:7.000

Son muchos los trabajos que han tratado la georreferenciación de los planos y mapas históricos¹⁸. Aunque resulta evidente la idoneidad del método para la visualización y comparación de las diferentes etapas de una ciudad, la información obtenida no aporta las características técnicas necesarias para realizar análisis espaciales cuantitativos. Si lo que se pretende es obtener una base que permita comparar la forma y superficie ocupada de las áreas urbanas a lo largo de la historia, hay que recurrir a otros métodos.

La georreferenciación es un paso imprescindible si se pretende medir distancias y áreas sobre el plano o mapa antiguo o compararlo con la situación actual de la ciudad. De esta forma será posible unificar la escala y la orientación. Además, si los planos y mapas van a ser publicados en algún tipo de visor geográfico o infraestructura de datos espaciales también será necesario georreferenciar. Si la intención es ofrecer también el plano o mapa al público es recomendable añadir el archivo original, ya que el resultado puede presentar distorsiones por el ajuste de los puntos de control que el usuario debe valorar.

Digitalización

Otra opción para analizar la información disponible en la cartografía histórica es digitalizar esa información en nuevas clases de entidad, es decir, en un formato de archivo para SIG. Se trata de reproducir el plano antiguo en un archivo vectorial, mediante líneas, polígonos y puntos. Este método es la esencia del SIG ya que permite localizar la información temática que aporta la cartografía histórica y organizarla en tablas de atributos.

¹⁸ Rumsey y Williams, 2002; Baiocchi y Lelo, 2005; Benavides, 2014.

De este modo la información incrementa su utilidad en el sentido de que permite realizar análisis espaciales con todas las herramientas disponibles en los SIG. El resultado es una copia de los elementos que nos interesen del plano, en un formato que responde a las necesidades técnicas actuales.

Naturalmente, el paso previo es georreferenciar el plano. Por lo dicho en el apartado anterior, la exactitud en la localización espacial de la información vendrá determinada por la precisión con la que se haya podido georreferenciar el plano.

La mayor desventaja de esta etapa es el coste en tiempo por tratarse de una tarea manual. Los métodos de digitalización automática no son útiles en la mayoría de casos debido a la complejidad de las texturas de los mapas y planos históricos. Así pues, la necesidad de digitalizar de forma artesanal resta eficiencia a este método si se trabaja con una serie temporal extensa o muestras muy amplias.

La ventaja es que el resultado obtenido son clases de entidades vectoriales con las que pueden realizarse todo tipo de análisis espaciales. A destacar también la capacidad de combinar la información con otros datos muy variados, por ejemplo, demográficos o de usos de suelo. En la figura 4 se muestran las manzanas y las estaciones de ferrocarril digitalizadas en la ciudad de Zaragoza en el año 1941. Además, la información en manzanas puede agregarse para obtener entidades mayores, como distritos o la propia mancha urbana completa.

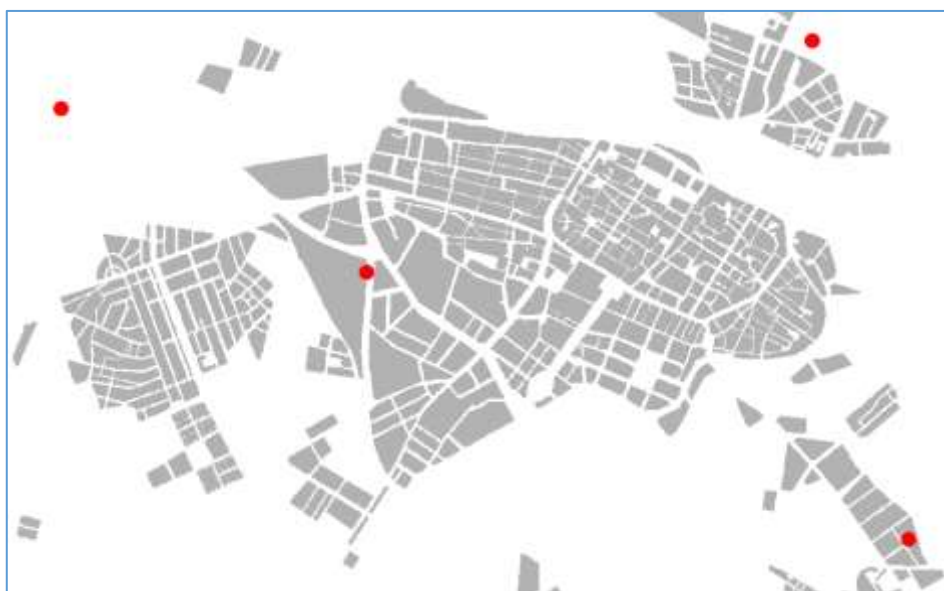


Figura 4. Combinación de información vectorial en SIG. Manzanas de Zaragoza en 1941 y estaciones de ferrocarril operativas (círculos rojos). Fuente: Elaboración propia.

Transcripción

En tercer lugar y como alternativa a los métodos anteriores, se va a presentar la transcripción de la información histórica a bases de datos actuales. Es decir, identificar los elementos representados en las fuentes históricas utilizando cartografía actual.

El método consiste en asignar a las manzanas actuales un atributo para poder indicar si cada una de ellas estaba o no representada en la cartografía en cada periodo histórico¹⁹. El resultado obtenido es una serie cartográfica que muestra el proceso seguido hasta llegar a las manzanas actuales. Este método, al igual que los anteriores, no está exento de problemas. La principal dificultad es la interpretación de la cartografía histórica para transcribir la información al plano actual. Benavides²⁰ apuntaba que “encontrar relaciones espaciales entre éstas [fuentes históricas y recientes] resulta ser un proceso muy delicado y por tanto tiende a ser subjetivo”, y que el investigador busca “semejanzas y diferencias en forma, tamaño y ubicación”. Esta autora hacía ya referencia a la dificultad para identificar puntos de control para georreferenciar un plano, y el problema es idéntico en el método de la transcripción.

La subjetividad en la interpretación por parte de investigador puede dar lugar a errores, aunque su frecuencia dependerá del grado de similitud de la representación del plano histórico con la cartografía actual. Existen dos razones por las que el plano histórico puede diferir en mayor o menor medida con las bases actuales: cambios en la estructura urbana desde el momento del levantamiento del plano hasta la actualidad; o deficiencias en los métodos de levantamiento cartográfico de los planos históricos, que dan lugar a distorsiones e imprecisiones.



Figura 5. Diferencias entre fuentes actuales e históricas. Plano de Lugo de 1812 y base de datos de manzanas actuales (IGN). La identificación de estructuras antiguas en la actualidad resulta complicada debido a los cambios que se han producido en la trama urbana o a que el plano presenta inexactitudes. Fuente: Elaboración propia.

En este segundo caso, el usuario puede encontrar distorsiones geométricas que dificulten la identificación de las estructuras en las bases actuales. Hay que tener presente que la cartografía ha experimentado importantes avances hasta la actualidad.

¹⁹ Esto puede llevarse a cabo introduciendo un atributo con la fecha del plano histórico o añadir un campo para cada plano histórico y diferenciar mediante unos y ceros si la manzana estaba representada en dicho plano o no.

²⁰ Benavides, 2004, p. 11.

Cuanto más antiguo es un plano urbano, más factible será encontrar imprecisiones espaciales y distorsiones. En la figura 5 se muestra un plano de Lugo no muy preciso.

En otros casos, la dificultad para identificar estructuras urbanas del pasado sobre la base actual se debe a reformas interiores que han modificado zonas específicas de la ciudad. Adoptar como referencia las manzanas equivale a trabajar sobre el trazado viario de la ciudad, lo que da cierta seguridad en este sentido. El trazado de calles es uno de los elementos urbanos más estables. Sin embargo, es posible encontrar modificaciones en el trazado viario, las más básicas consisten en el ensanchamiento, alineaciones de fachadas o apertura de nuevas calles, lo cual no supone un gran problema a la hora de trasladar la información desde el plano histórico a la base actual. En estos casos gran parte de la estructura urbana pervive a pesar de los cambios.

Sin embargo, en ocasiones, las transformaciones han sido más importantes. La forma de urbanizar ha ido evolucionando a lo largo del tiempo para responder a las nuevas necesidades de la población: La rápida masificación, el uso generalizado del automóvil, la necesidad de aparcamiento y de zonas verdes, son solo algunos factores que han llevado a replantear la estructura de áreas ya urbanizadas para adaptarlas a las nuevas necesidades.

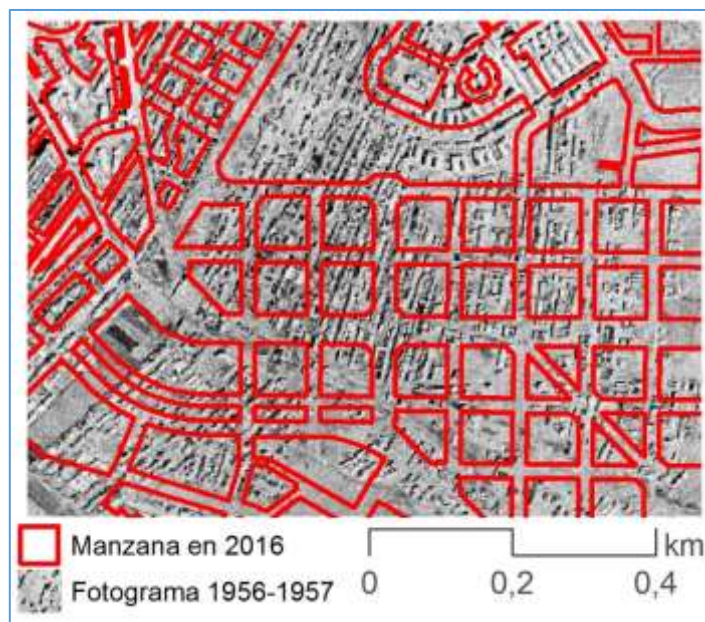


Figura 6. Cambios en la trama urbana entre 1956-57 y 2016 en el sur de Madrid. Fuente: Elaboración propia con fotograma del vuelo americano de la serie B (IGN) y base de Cartociudad (IGN).

En los casos estudiados de ciudades españolas no se han encontrado ejemplos de grandes modificaciones en la estructura urbana histórica, aunque sí en la expansión más reciente. Esto es debido a que las zonas más propensas a modificaciones de este tipo son las áreas de crecimiento de baja densidad, en particular las no planificadas, derivados de la llegada masiva de población rural a las ciudades a partir de los años 1940s. Estas zonas urbanas no contaban con los servicios necesarios y carecían de interés histórico, por lo que la renovación total de su urbanismo no conlleva muchos problemas asociados. En el caso de España, estas áreas surgieron inicialmente en la primera mitad

del siglo XX en las grandes ciudades, de ahí que estén ya reflejadas en los primeros fotogramas aéreos (figura 6, con fotogramas de 1956-1957), pero no aún en los planos históricos.

No obstante, incluso en casos extremos de modificación completa del viario, siempre es posible encontrar referencias en espacios circundantes que ayuden a identificar el espacio ocupado en la cartografía sobre el trazado actual.

Otros casos que pueden generar confusión se refieren a cuando el cartógrafo incluía en los planos infraestructuras o edificios solo proyectados, adelantando la representación a la construcción real. Esto no genera ninguna imprecisión si el proyecto se llevó a cabo, pero en ocasiones no sucedió, tergiversando así la realidad.

El resultado que se puede obtener del proceso de transcripción es una base de datos de manzanas ya construidas en un año determinado, el de realización del plano. Debido a los problemas comentados, en algunos casos la correspondencia entre las manzanas representadas en la base actual y en la cartografía histórica puede no ser exacta. No obstante, en la mayoría de los casos sí lo es. El posible error es asumible teniendo en cuenta el ahorro de tiempo con respecto a la digitalización y al hecho de que ese método tampoco esté libre de errores.

Al igual que en el caso de la digitalización, las posibles aplicaciones del resultado de esta metodología son las mismas que se tienen con una base de datos moderna de manzanas urbanas. Es posible agregar y desagregar la información a distintos niveles, realizar análisis espaciales vectoriales, o combinar con información procedente de otras bases de datos.

Zonas de morfología urbana históricas (ZMU-H)

En este apartado se presentará una metodología de trabajo con la que crear series históricas comparables de superficie urbana construida. El objetivo es doble, homogeneizar los datos históricos y los actuales, y facilitar la ampliación geográfica de la base de datos añadiendo nuevas ciudades.

Si lo que se pretende es un estudio de la estructura de la ciudad en un momento concreto, la base de datos obtenida a partir de los métodos antes expuestos de transcripción o de digitalización, es perfectamente suficiente. Sin embargo, si el objetivo es un estudio evolutivo de diversas ciudades es necesario contar con varios planos históricos de años significativos. Así se podrá construir una base de datos comparable para las ciudades de un territorio amplio.

Por otra parte, para el estudio de la morfología urbana y el análisis del crecimiento urbano, más allá del demográfico, es necesario conocer el grado de intervención humana sobre el territorio. Es decir, las extensiones de superficie artificial que son susceptibles de ser catalogadas como áreas urbanas y que se denominan zonas de morfología urbana (ZMU), según la definición de Goerlich y Cantarino²¹.

²¹ Goerlich y Cantarino, 2013.

La Agencia Europea de Medioambiente (EEA, por sus siglas en inglés) define las ZMU como “un conjunto de áreas urbanas a menos de 200 metros de distancia”²². El principal productor de esta información es la propia EEA, que ha realizado los cálculos de las ZMU para todo el territorio europeo en los años 1990, 2000 y 2006 a partir de la información recogida por el proyecto Corine Land Cover (CLC)²³. Por su parte, Goerlich y Cantarino²⁴ calcularon las ZMU para España con los datos que ofrece el Sistema de Información de Ocupación del Suelo en España (SIOSE), cuya primera versión se publicó en el año 2005.

Recordemos que el objetivo de este artículo es definir la metodología para ampliar históricamente las ZMU. Estas agrupan, en polígonos de un mínimo de 25 Ha, tejidos urbanos continuos y discontinuos, usos comerciales e industriales y áreas verdes urbanas del proyecto Corine Land Cover. Además, si se encuentran a menos de 300 m de distancia de los usos anteriores, también se incluyen instalaciones deportivas y de ocio, infraestructuras de transporte y caudales de agua. También bosques si están completamente rodeadas de usos urbanos. Comparando estos datos, la información obtenida de la cartografía histórica es más precisa, dado que ofrece información desagregada y a mayor escala. A fin de conseguir comparar cartografía de fuentes distintas (histórica, fotografía aérea e imágenes satélite) será necesario realizar una generalización atendiendo a la metodología de cálculo de las ZMU para obtener una base de datos homogénea.

Para conseguir esta homogeneización, en primer lugar, será necesario identificar las áreas urbanas. La base de datos inicial muestra las manzanas edificadas sin distinción de usos de suelo. Para convertir esta información a áreas urbanas se agregarán las manzanas en un solo polígono. Asegurándonos de que las vías de comunicación o los cursos de agua que transcurren entre las zonas urbanas sean incluidos en el continuo urbano, tal y como se hace en el cálculo de las ZMU (300 metros de distancia de agregación).

Por su parte, las ZMU son conjuntos de zonas construidas situadas a menos de 200 metros, por lo que habrá que combinar los polígonos que representan las áreas urbanas que estén a menos de 200 metros entre sí. Este paso es necesario en el caso de que las áreas urbanas hayan sido calculadas por separado en cada municipio o en el caso de que se unan varias bases de áreas urbanas.

Por último, hay que adecuar el formato al de las ZMU. Las ZMU están representadas en coordenadas ETRS89_LAEA_Europe y están representadas por píxeles de 100 x 100 m. Para obtener un producto comparable hay que trasladar la información obtenida en el paso anterior a una malla vectorial de 100 x 100 metros en el sistema de coordenadas citado anteriormente. Como punto final, se deben eliminar los polígonos y los agujeros de menos de 25 Ha para cumplir con la unidad mínima cartografiable del proyecto CLC.

²² Simon *et al.*, 2010, p.4.

²³ El Programa CORINE, CoORDination of INformation of the Environment es "un proyecto experimental para la recopilación, la coordinación y la homogeneización de la información sobre el estado del medio ambiente y los recursos naturales en la Comunidad". Establecido en 1985 en Consejo de Ministros de la Unión Europea (CE/338/85).

²⁴ Goerlich y Cantarino, 2013.

El resultado son polígonos que delimitarán la superficie construida en un año en concreto, el de publicación del plano o mapa histórico. Para agilizar el proceso de cálculo de ZMU-H cuando se trabaja con una muestra de ciudades, resulta más eficiente considerar periodos temporales en lugar de años concretos (figura 7). Por ejemplo, calcularemos las zonas de morfología urbana entre 1800 y 1825 tomando de cada ciudad la fuente más próxima al final del periodo de estudio.



Figura 7. UMZ Históricas de Lleida.

Fuente: Elaboración propia.

El cálculo de las ZMU-H supone una pérdida de información con respecto a las bases de datos obtenidas en pasos anteriores. No obstante, las posibilidades de análisis de la superficie urbana construida son múltiples, desde la obtención de la densidad de población urbana al cruzar los datos con fuentes demográficas, a análisis multicriterio, de compacidad o estudios de crecimiento con series temporales.

Conclusiones

Los SIG han supuesto un gran avance en el estudio de la forma urbana y el crecimiento urbano, pero, para aprovechar todo su potencial, la información histórica debe adecuarse a los requerimientos técnicos. El hecho de poder trabajar con series históricas de datos espaciales urbanos ofrece nuevas posibilidades en el estudio de las ciudades, pudiendo completar así los análisis basados en las variaciones de población, mejorar los trabajos basados en el análisis visual de planos y mapas, ampliar temporalmente los análisis basados en la densidad de población o realizar estudios más complejos estudiando la relación de la ciudad con otros factores espaciales.

Así pues, la información obtenida es de indudable valor. Las ciudades han experimentado cambios muy importantes a lo largo de la historia y la mejor forma de observarlos es a través de la cartografía histórica. No obstante, hay que remarcar que todo investigador debe asumir cierto error al trabajar con planos y mapas antiguos. La cartografía no siempre ha sido tan precisa como lo es hoy en día, por lo que es comprensible que los planos y mapas levantados décadas atrás no sean completamente fieles a la realidad de la época. Se trate como se trate la información, el error no podrá eliminarse por completo.

El modo de trabajar con planos y mapas históricos dependerá de varios aspectos, que el investigador deberá valorar. Principalmente los dos siguientes:

- Objetivo de la investigación.

¿Cuál es el resultado que espera obtenerse? El tratamiento de la información debe ser acorde con las necesidades metodológicas del trabajo. En investigaciones en que los planos y mapas solo tengan que someterse a un análisis visual, ni siquiera una georreferenciación será necesaria. Pero si se pretende realizar mediciones o comparar los planos y los mapas re-escalados y orientados, deberán georreferenciarse. Mientras que si el objetivo es realizar un análisis espacial donde entren en juego la localización de las distintas entidades en el espacio, será necesaria una digitalización o una transcripción de la información.

- Tamaño de la muestra.

Una vez aclarado el tipo de información necesaria para la investigación, hay que valorar la eficiencia del método. Si solamente es necesario georreferenciar los planos y mapas, el tamaño de la muestra es irrelevante, ya que no hay otra opción. En el caso de que el análisis requiera de información en formato vectorial, sí hay grandes diferencias. Si el análisis va a llevarse a cabo en muy pocas ciudades, puede resultar viable la digitalización de la cartografía, dependerá del número de planos y mapas con los que se va a trabajar y de los recursos que el investigador desee dedicar al tratamiento de la información. En el caso de estudios que impliquen un número considerable de ciudades, así como de planos y mapas, se recomienda recurrir a la transcripción de la información. El resultado mediante la transcripción es menos preciso que el de la digitalización, pero el ahorro en tiempo es más que considerable.

La necesidad de homogeneizar el resultado con fuentes actuales también es variable. Si para el análisis se ha de operar con la posición de las manzanas urbanas no deberán calcularse las ZMU-H, debido a que al hacerlo se perdería esa información. Si el análisis se basa en el polígono que representa la mancha urbana y hay intención de ampliar la base de datos y de mantenerla actualizada, el cálculo de las ZMU es más que recomendable.

En definitiva, se debe valorar en cada caso el modo de proceder. El método de la transcripción y la homogeneización en ZMU-H ha permitido crear una base de datos que modela la evolución de las capitales de provincia peninsulares en España desde mediados del siglo XIX a la actualidad. Además, será posible implementarlo en otras ciudades europeas con relativa facilidad, pudiendo así comparar la evolución de la forma a lo largo de la historia en distintas zonas de forma cuantitativa.

La forma y el tipo de información obtenida abre un amplio abanico de futuras líneas de trabajo que pueden resultar en una nueva visión del crecimiento urbano y de los cambios en su morfología. El estudio cuantitativo y las relaciones espaciales entre distintas variables permitirá entender mejor el comportamiento de las ciudades, una información realmente útil para una mejor planificación en el futuro.

Bibliografía

ANTROP, M. Landscape change and the urbanization process in Europe. *Landscape and urban planning*, 2004, 67(1), p. 9-26.

ÁLVAREZ-PALAU, E., SOLANAS-JIMÉNEZ, J., MARTÍ-HENNEBERG, J. y MORILLAS-TORNÉ, M. HGIS reconstruction of the urbanisation process. *European Social Science History Conference (ESSHC)*, 2016. International Institute of Social History (IISH), Valencia, 30 March – 2 April.

BAIOCCHI, V., & LELO, K. Georeferencing the historical maps of Rome between the seventeenth and eighteenth centuries. *CIPA 2005 XX International Symposium*, 2005. Torino, 26 September – 1 October.

BENAVIDES, J. El uso de métodos históricos de levantamiento topográfico y cartográfico en la elaboración de mapas confiables de ciudades: caso de estudio: Zwolle, Holanda. *Scripta Nova: Revista Electrónica de Geografía Y Ciencias Sociales*, 2004. Vol. 8, núm. 170 (65)

BENAVIDES, J. Measuring the historical city: the reliability of historical land surveying methods, and their use in virtual urban cartography. Tesis doctoral dirigida por Prof. J. Nerbonne y Prof. C.M.J.M. van den Heuvel. Groningen: University of Groningen, 2014. 308 p.

van der BERG, L., DREWETT, R., KLAASEN, L. H., Rossi, A., y Vijverberg, C. H. T. *Urban Europe: A study of growth and decline*. Oxford: Pergamon Press. 1982.

FERNANDES, M. G. Urbanismo e morfología urbana no Norte de Portugal: Viana do Castelo, Póvoa de Varzim, Guimarães, Vila Real, Chaves e Bragança. Tesis doctoral dirigida por Prof. Manuel Pereira de Oliveira. Oporto: Universidade do Porto, 2002. Vol. I: 519p, Vol. II: 331p.

FERNANDES, R. B., SANTO, S. M. & SANTOS, R. L. O Sistema de Informação Geográfico (SIG) como subsídio para o planeamento urbano: a ocupação legal e as águas da sub-bacia do Rio Jacuípe, Feira de Santana, Bahia, Brasil. *Biblio 3W, Revista Bibliográfica de Geografía y Ciencias Sociales*, 2008. Vol. XIII, nº 775.

FERREIRA, A. M. *Aspectos da organização do espaço Português*. Porto: FAUP Publicações. 1995.

GOERLICH GISBERT, F., & CANTARINO MARTÍ, I. *Zonas de morfología urbana: coberturas del suelo y demografía*. Fundación BBVA/BBVA Foundation. 2013.

MOUDON, A. Urban morphology as an emerging interdisciplinary field. *Urban Morphology*, 1997. 1(1), 3–10.

MOUDON, A. The changing morphology of suburban neighbourhoods. En PETRUCCIOLI, A. (Ed.) *Typological Process and Design Theory*. 1998. p. 141-157

NAVARRO VERA, J. R., & ORTUÑO PADILLA, A. Aproximación a la génesis de la contribución de la densidad en la noción de “ciudad compacta” *EURE* (Santiago), 2011. 37(112), p. 23–41.

OLIVEIRA, V., & PINHO, P. Study of urban form in Portugal: a comparative analysis of the cities of Lisbon and Oporto. *URBAN DESIGN International*, 2006. 11(3–4), p. 187–201.

PINHO, P., & OLIVEIRA, V. Cartographic analysis in urban morphology. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 2009. 36(1), p. 107–127.

PONT, M. B., & HAUPT, P. *Space, density and urban form*. Rotterdam, NAI Publishers. 2010.

RUMSEY, D., & WILLIAMS, M. Historical maps in GIS. *Past Time, Past Place. GIS for History*, 2002. p. 1–18.

SAN-ANTONIO-GÓMEZ, C. de. Metodología para el análisis gráfico de la cartografía histórica. *Actas del XVIII Congreso Internacional de Ingeniería Gráfica (INGEGRAF)*. 2006.

SIMON, A., FONS, J., MILEGO, R., & GEORGI, B. Urban morphological zones version F2v0: Definition and procedural steps. Final rep., ETC/LUSI and EEA. 2010.

SOLANAS JIMÉNEZ, J., ALVAREZ-PALAU, E., MARTÍ-HENNEBERG, J. Estación ferroviaria y ciudades intermedias: lectura geo-espacial del crecimiento urbano mediante indicadores SIG vectoriales. El caso de Cataluña (1848 – 2010), *GeoFocus (Artículos)*, 2015. no 16, p. 253-280

STEVENS, D., DRAGICEVIC, S., & ROTHLEY, K. iCity: A GIS-CA modelling tool for urban planning and decision making. *Environmental Modelling and Software*, 2007. 22(6), 761–773.

© Copyright: Jorge Solanas-Giménez, 2018

© Copyright *Biblio3W, Revista Bibliográfica de Geografía y Ciencias Sociales*, 2018

Ficha bibliográfica:

SOLANAS-JIMÉNEZ, Jorge. Tratamiento de cartografía histórica para el análisis de la forma urbana en Sistemas de Información Geográfica. *Biblio3W. Revista Bibliográfica de Geografía y Ciencias Sociales*. [En línea]. Barcelona: Universidad de Barcelona, 25 de enero de 2018, vol. XXIII, nº 1.225. <<http://www.ub.es/geocrit/b3w-1225.pdf>>. [ISSN 1138-9796].