

An Unpublished Cartography of Granada (Spain) From the Beginning of the XXTH Century: Bases for its data integration in a GIS

Currently, the analysis, planning and management of cities and territories use some tools -nowadays nearly unavoidable- that are experiencing an extraordinary development in the last decades. All these tools are related to the Geographic Information Technology (GIT). With GIT we are talking about the Geographic Information Systems (GIS) and the Spatial Data Infrastructure (SDI).

Recent studies carried out about historical cartography are demonstrating that they are not beyond this trend. Many are the advantages on the use of these tools: the georeferencing of the information contained, the variety of geospatial analysis permitted, and above all, the dissemination which this information can experience through the SDI.

These, are precisely the tools we want to use in the unpublished historical cartography of Granada. Nevertheless, this study is also concerned on proposing a methodology that will meet the former objectives. And will also take into account previous experiences

on similar studies done on historical cartographies. The aim of this study is to set the bases of a future Spatial Data Infrastructure (SDI), based on the Population Map of Granada, created at the beginning of the XXth century. This way, this cartography will be completed with an uncountable number of variables such as: urban, cultural, economic, socio-demographic variables, etc. All of which can be georeferenced, fact that will definitely help to have a bigger knowledge of the city at that time. This will be achieved by structuring, visualizing, publishing and sharing all the data of that time through this new information tools.

This work arises from a research that took place in SMLab UGR (Survey and Modelling Lab of Architectural Heritage), based in the Superior Technical School of Architecture, University of Granada.



Antonio J. Gómez-Blanco Pontes
PhD. Architect. Department of Architectural Graphic Expression. Univ. Granada. Scientific Coordinator of SMLab (Survey and Modelling Lab of Architectural Heritage) University of Granada. Spain.



Juan Francisco Reinoso Gordo
PhD. Engineer in Geodesy and Cartography. Department of Architectural Graphic Expression. Univ. Granada. Scientific Coordinator of SMLab (Survey and Modelling Lab of Architectural Heritage) University of Granada. Spain.



Fernando Acale Sánchez
PhD. Architect. Scientific Collaborator of SMLab

Keywords:
Historical Cartography; Geographic Information System; Spatial Data Infrastructure

1. A MAP OF GRANADA AT THE BEGINNING OF THE XXth CENTURY. TWO VERSIONS

1.1 THE MAP OF GRANADA OF 1909. ITS ORIGINS

After five decades of tumultuous urban transformations in Granada, the opening of the Street Gran Vía de Colón between 1895 and 1910 meant the end of the image of the nineteenth-century new city. Concurrently to the development of the city's image, great efforts took place to improve the urban infrastructures. In 1908 the Municipal Engineers were deep into planning the new water pipeline network (1), finding themselves with the disadvantage of not having a map that represented faithfully the real layout of the city.

This situation made the council take actions by negotiating the elaboration of the new population map, under the direction of the Institute of Geography and Statistics. To that end, José Gómez Tortosa, Mayor of Granada at that time, asked for the help of the Members of Parliament of Granada: Manuel Rodríguez Acosta, Antonio Marín de la Bárcena, Juan R. Lachica y el Conde de Castillejo (2).

The negotiations were successful and on the 29th of January, 1909 the Local Government Director General addressed the Civil Governor and the Mayor to inform them that the Minister of Public Instruction and the General Director of the Institute of Geography and Statistics had the means and qualified staff capable of undertaking the project of the desired Plan. The costs should be covered by the City Council and its accomplishment should take around three months.

On the 30th of January, the City Council called an urgent extraordinary session to debate the offer from the General Director of the Institute of Geography and Statistics. Not only his offer was accepted but also its costs, that came to 27,000 Ptas (162.27€). Money that covered the costs of wages, meal allowances and equipment transfers for seven geographers and nineteen mapping surveyors. Moreover, the City Council had to provide with offices and with seventy-two workers which add up to 11,000 Ptas (66.27€) (3).

The 2nd of February, arrived to the city the Chief Engineer Carlos Guillén y Barranco, the Topographer Ernesto Angulo Ponce de León and the Geographer Paulino Martínez Cajón, in order to plan the works (4). On the following days the rest of the staff arrived and the team was ready, with Carlos Guillén as Chief Engineer and the assistance of two topographers and six work teams. Each team formed by a geographer and three assistant topographers and two other members to carry the telescopic sights. Later one more (5) geographer will join the team, starting the works on the 15th of February (6).

1.2 THE ELABORATION OF THE MAP OF GRANADA, 1909

Finally, eight geographers and twenty-three topographers took part on the works. For the good development of the Project they decided to divide the city map into eleven sheets. They proceeded by setting up a base on the street Paseo del Violón and from there they calculated the vertex located on different towers such as: the Cathedral tower, the Vela tower, the Escolapios tower, the Seminar tower, the tower from the Church of San Cristobal and the tower from the Monastery of San Jerónimo, as from other locations in the city such as: the Chapel of San Miguel, the Cruz de Piedra and the Carmen de los Mártires. Checks were taken from another base installed in the square of Bibarrambla, obtaining an error of two decimetres (7).

Upon this triangulation they drew a network of polygons containing 3,500 vertices. They had to measure, with tape, from each point of the polygonation to all the elements that should be reflected on the map. Elements such as: the side walls of adjacent buildings, lamp posts, trees, hydrants, public toilets, etc.

The measurements performed by the topographers were represented block to block, with reference to the polygon and to its corresponding zone. Even though, the representation guidelines of the different work sheets were equal for all the topographers, there were some differences between them. The works of joining all these work sheets together will finally standardise these gui-

delines. Finally, they achieved 11 sheets with a scale of 1:2000 in which the map of the city was divided (Fig. 1).

For its final presentation, the draughtsmen from the Institute recomposed the map based on 16 sheets, all of them numbered from East to West and from North to South. They used the blank spaces to insert the map keys as well as a wide street map.

Furthermore, colour was included on the map representing gardens and woods on green and rivers, irrigation canals, fountains and ponds in light blue. Finally, emblematic buildings were coloured in orange and the rest of the buildings on a sienna tone. The final composition of the 16 sheets resulted on a square map of 225 cm x 230 cm, which could be perfectly framed and exhibited to the public (8).

Ultimately, the two versions of the maps were printed: the 11 work sheets, for technical use of the City Council and the illustrated version. The print of the 11 work sheets was letter headed with the words "Population map, Granada City Council". All the sheets are numbered and have a little sketch for its composition.

2. THE VALUE OF HISTORICAL CARTOGRAPHY

As if we were dealing with a partially erased palimpsest, contemporary cities allow us to find traces that help us to identify their preserved remains from immemorial times.

Within the specific field of urban research, historical cartographic sources are a crucial contribution for the identification and comprehension of this traces or layers that still remain indelible. This is due to the fact that historical cartography enables the establishment of the transformation processes suffered by all cities over the years. Due, to its capability of giving essential information in the reconstruction of altered or vanish spots. They do also reflect the attitude of those who produced them, as they represent the vision of the world by the society of that time.

3. GIT IN URBAN HISTORICAL RESEARCH

Under the wing of the new Information and Communications Technologies (ICT), the GIT's are experiencing a vast development due to the extraordinary contributions that these are providing in such different fields as: the environmental management and use, the regional planning, the urban development and planning of transport, utilities, etc. In general, these technologies are characterized by the use that they make of all the technological and methodological possibilities within the new information technologies. Particularly, ICT's such as: GIS (9), remote sensing and digital mapping techniques, regarding geographic researches. We have used terms such as "research", "historical cartography" and "new technologies". Hereafter, we will try and relate these terms to what is known as Historical Geographical Information Systems (HGIS).

3.1 WHAT IS MEANT BY HISTORICAL GIS (HGIS)?

Any historical research that uses GIS can be considered as an HGIS. Nevertheless, to be more precise we must insist that is about a scientific methodology as Anne K. Knowles states. In fact, the HGIS have several methodological features that help in working out its potential (10):

1. The questions are always about geographical issues, fact that considerably determines the results of the research.
2. The historical evidence is also achieved by working only with geographical data.
3. The use of several databases, were all the temporal and location information is recorded, is the key for the analytical model.
4. The results of the researches are represented on new maps, generated by other maps which not only are unable to show by themselves the spatial relations between each of them, but also incapable of showing any of the changing models happened through time.

3.2 THE SDI AND THE HISTORICAL CARTOGRAPHY

The technological advances that have occurred within the last years, allow increasingly often, initiatives that try to use GIS and map servers in their studies and dissemination of historical cartography. That's why they are currently being known as historical SDI.

Being based in the INSPIRE (11) European directive

(INfrastructure for SPatial InfoRmation in Europe), the SDI's are considered the most appropriate technological solution to share and publish any type of geographical information in relation to historical cartography.

Furthermore, there is no better way to share this information than through the Internet.

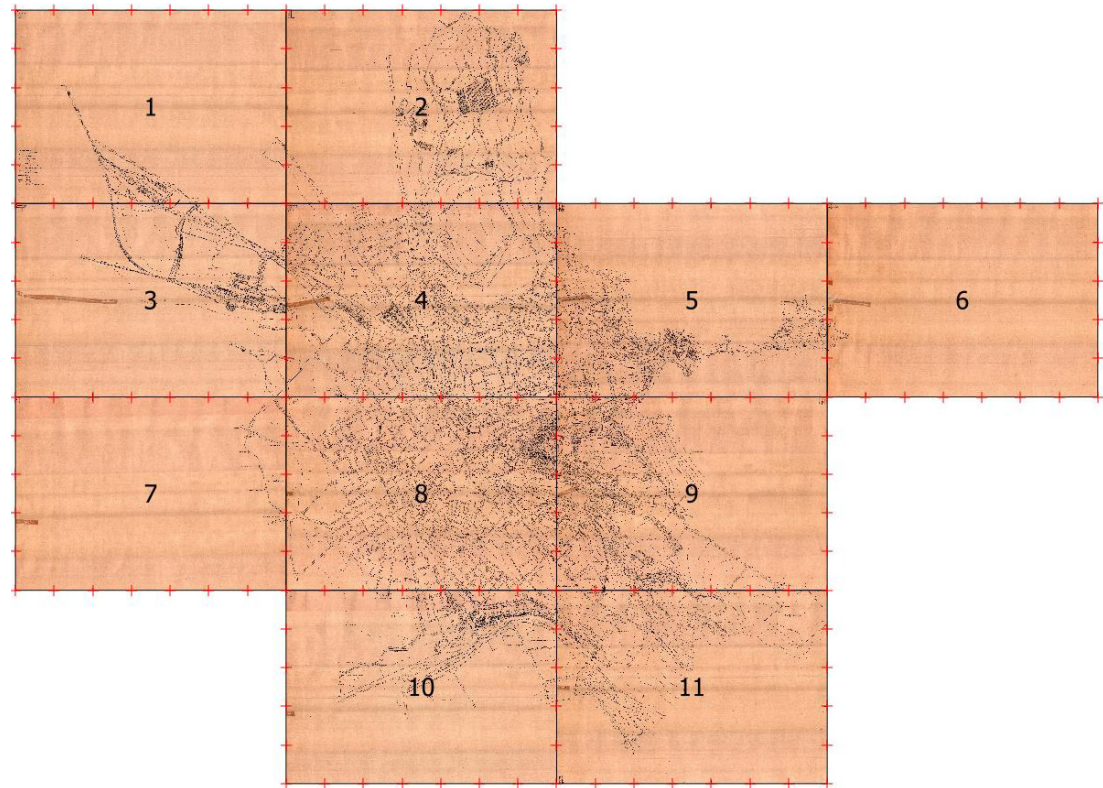


Fig.1 City map of Granada, 1909, under the direction of Carlos Guillén. General composition of the 11 sheets of the map (Archive A. Gómez-Blanco Pontes)

4. A GIS OF THE POPULATION MAP OF GRANADA, 1909

What was thought as a good documental, geometrical and topographical base of the map, was eventually introduced in a GIS and therefore, converted into an HGIS, benefiting from of its many advantages.

It has started from an original plan edited in its version of 11 sheets more or less well preserved, as the sheets have been broken on some edges and show some damp stains due to the passage of time. Nevertheless, it still continues to have the clearness and brightness with which it was initially marked.

Regarding the information given by the map, we want to add that the map's key, titled as "Conventional Symbols", represents features such as: Trees, public lighting, hydrants, lamp posts, lamps, public toilets, façade boundaries, borders, walls, fences, railings, tramway posts and polygon vertices. To this information we must add the one referring to the terrain elevations through the level curves, one each 5 metres, from the height of 660 metres to the height of 850 metres.

Each sheet is titled, on the top left corner, with the title "Population Map", on the top right corner with the title "Council of Granada"; and on the centre we can read the number of the sheet. Each sheet has a little sketch that shows its location within the general map, normally on the top left corner, if not on any other corner.

None of the sheets show information about the scale or any graphic scale. The comparisons with other historical and current maps allow us to confirm that the scale is 1:2000. Even though, they do not contain information about the True North; it can be verified that the north-south axis happen to meet in the vertical plan, as usual.

Finally, we want to highlight the information placed on each corner of every sheet, which is relevant for a first relative georeference of each sheet. We are talking about specific coordinates of the map represented in a graticule of 200x200 metres. Each sheet has 5 graticules pointing the north-south direction and 7 graticules pointing

the east-west direction (Fig.2). All together, the map will cover from the coordinates (7900, 12500) on its top left corner, to the coordinates (13500, 8500) on its bottom right corner.

4.1 THE SCANNING PROCESS AND GRAPHIC PROCESSING WITHOUT "NOISE" OR IMPERFECTIONS

The process of introducing the map into a GIS starts by changing its paper format into a digital one, scanning its 11 sheets. After the scanning,

many raster images with the highest resolution (12) are obtained.

Once the sheets have been scanned they are graphically processed by a raster graphic editor in order to remove easily any "noise" or imperfections that could be a problem in any future integration in a GIS.

The graphic process basically consists in turning each raster image into a grey scale, with 256 levels of greys, from 0 (black) to 255 (white). However, as we are dealing with an automated process,

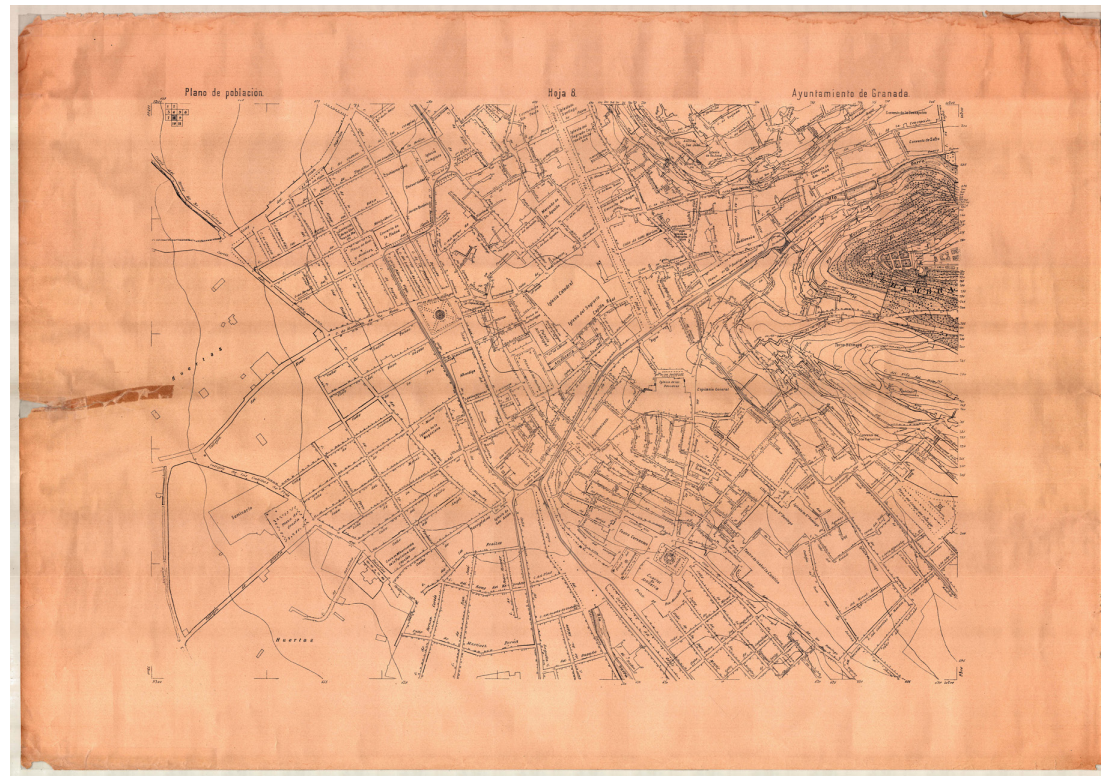


Fig.2 Sheet number 8 from the original

the algorithms in the GIS do not distinguish in between the graphic trace with documental value and a stain or imperfection on the image. That is why it is so important to do a manual cleaning of the graphic noise (13) and imperfections that can be found in all the sheets of the map (Fig.3). In fact, it is very easy to confuse a stain spot with a dot representing the location of a lamp post or any other item.

4.2 GEOREFERENCING ACCORDING TO THE ORIGINAL COORDINATES OF THE MAP AND TO THE TRIMMING OF THE SHEETS

The process of georeferencing consists of locating the representation of an object in a three dimensional space according to the centre of the Earth, applying for that purpose a system of coordinates and an specific datum.

Generally, the process of georeferencing of the raster image of a certain area—either of a map or photography—, is achieved by selecting a set of points on the image, called GPC (Ground Control Points) and subsequently assigning them the geographic coordinates that they represent on the map. As a result, the raster image is converted and all its points will tend to locate in the coordinates that they represent.

But before the population map of Granada is georeferenced, we decide to correct all the distortions that the map may have suffered over the years (basically expansions caused by dampness) and the possible errors that may have occur as the result of the scanning process of the sheets (among other reasons, this could be hypothetically caused by the lack of scanner calibration (14).

This first georectification of the raster images of the sheets was done through a relative georeferencing based on the information contained on the coordinate system of the original map.

The GCP of this first georeference have been selected from an original graticule of 200x200 metres that goes with each sheet and the coordinates (X,Y) that can be found on each corner.

The fact that the selected GCP were all in line was not a problem for obtaining the RMS (Root Mean Square) errors in each sheet, which were not over the value of 0,135 (value of the difference between the

real location and the location of the GCP after being transformed). This value is considered to be quite satisfactory. In fact, it is recommended not to be over 0.5 ($RMS \leq 0.5$), which means that it must be under half of the size of the pixel from the image that is going to be transformed

4.3 OBTAINING THE WHOLE MAP, JOINING AND “STITCHING” THE SHEETS

Due to the high resolution of the different raster images obtained (600dpi); the tool used for the stitching of the eleven sheets was again a raster graphic editor. Not using in this case the GIS tool.

As each page had matching points—sometimes up to 24—with its adjacent sheets, the composition of the map was made by matching those points as if it was a puzzle.

Finally, we achieved a raster image with a high resolution of the whole population map, without being georeferenced. On this stage, we only had to work on the new plan so that the joints or “stitching” (15) between the sheets were properly made, for that purpose we used again a raster graphic editor (Fig.4).

4.4 GEOREFERENCING THE NEW MAP. CONTROL POINTS OR FIXED POINTS

The GCP— in this case carefully chosen in between those that have remained invariable along time—were selected by a Leica 1200 dual frequency GPS used in a differential mode. The mobile receiver was equipped with a SIM card that permitted the connection to the Internet and the data exchange with a server that facilitated the differential correction in real time.

These differential corrections were provided by the server of the Andalusian positioning network (RAP). The communication protocol on the Internet was the NTRIP (Network Transport of RTCM via Internet Protocol).

The RAP consists of a total of 22 stations distributed through all the Andalusian (Spanish) territory, which coordinates are known on the ETRS89 coordinate system and that can provide with differential corrections according to two different criteria: a) referred to the network adjustments (network corrections), or b) referred to the nearest station to the place where the mobile GPS is (correction by nearest station). In our

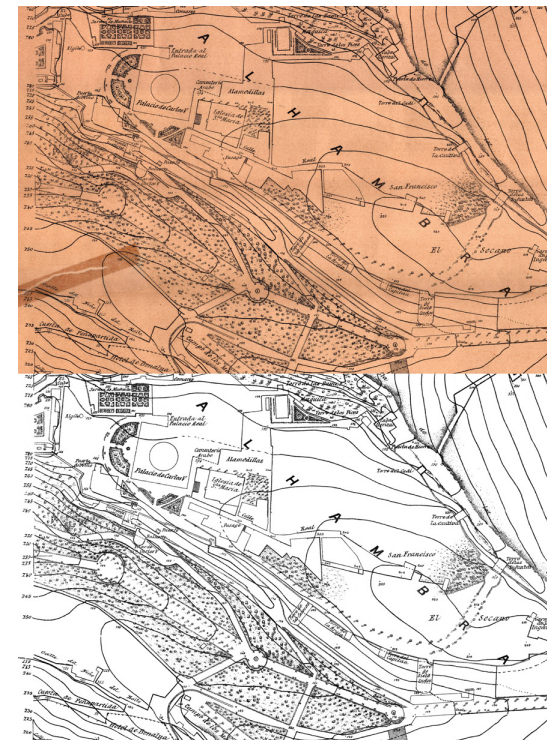


Fig.3 Grey scale conversion and the cleaning of noise and imperfections

case, we selected the network corrections taking into account that the errors have a more global character than the ones provided by the nearest station.

The average error was 2.7 cm, this implies a more than sufficient accuracy on the selection of the control points in comparison with the errors which are inherent to the map scale and its imperfections caused by the pass of the time.

4.5 THE GEOREFERENCING OF THE MAP. PROCESS AND FIRST RESULTS

Taking the selected GCP's as reference (easily identifiable, permanent through time and equally distributed

through all the map) we proceed to georeference them with the GIS tool, carefully introducing the points in the map and assigning them with their respective coordinates obtained by GPS. Finally, the Root Mean Square (RMS) error is again under 0.5, which makes acceptable the number of points chosen.

Once the map has been georeferenced, we proceed to the next stage by introducing in the GIS a new layer with another raster image, equally georeferenced in ETRS89. This raster image was obtained from the Spanish Aerial Orthophotography National Plan (PNOA) (16) and is an actual orthophoto of the city of Granada. After applying to the pixels a 100% of transparency with the value of 255 in its three RGB channels--to the map background (White colour)—and leaving active the orthophoto layer of the actual map of Granada, we can already appreciate the potential that the new GIS can offer to a future analysis and well documented study of the transformation occurred in the city in the last century (Fig.5).

4.6 VECTORISATION OF GRAPHIC FEATURES AND ASSIGNMENT OF THE INFORMATION

At this stage is now time to produce new vector layers that will allow the introduction of the information that the map provides, as the introduction of the external information that in a future will complete it and will allow new spatial analysis:

- Blocks and plots (polygons). From the edges of façades and borders and with information about the surfaces and perimeters.
- Parks, Woods and gardens (polygons). With information about its surfaces. Enabling future approximation analysis with buffers.
- Woodland (points).
- Roads and squares (lines). Identifiable by their assigned names in the map and their current denomination. Specifying if they are streets, alleys, squares, roads, paths, etc. This will allow future network analysis with the calculation of optimal routes, etc.
- Level curves (lines). With information about their different heights. Enabling new information as the Digital Elevation Map (DEM), of that period, according to the information of the map.
- Hydrography (polygons). Specifying if they are

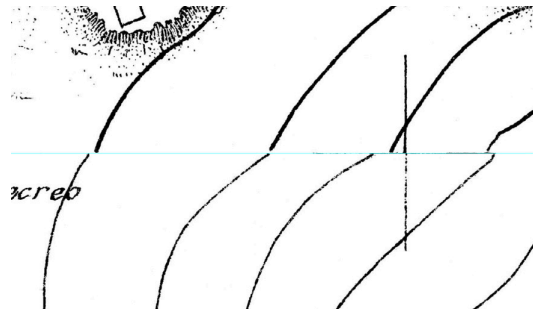
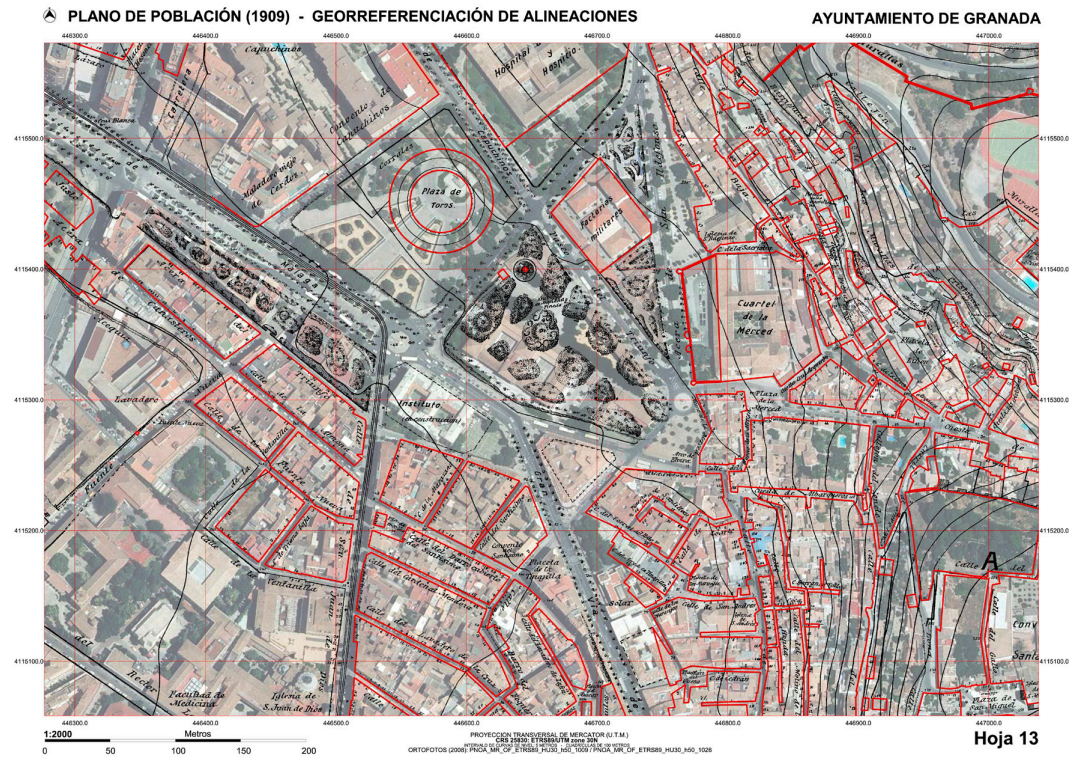


Fig.4 Joining and “stitching” of the sheets



Fig.5 Verification of the city transformation in the last century



rivers, irrigation canals, tanks, etc.

- Rail and tramway lines (lines). What will also allow future network analysis according to these rail and tramway lines.
- Public lighting (points). Specifying if they are lamp posts or lamps. Enabling future zonings according to the lighting conditions of the city.

Finally, to complete this information we introduce another new raster layer from the current DEM of the zone. This new layer will allow the study of the zone geomorphometry and the future analysis of relief, illumination studies, visibility, etc.

5. HISTORICAL SDI OF THE POPULATION MAP OF GRANADA AT THE BEGINNING OF THE XXth CENTURY

In the SMLab_UGR (Survey and Modelling Lab of Architectural Heritage) of the University of Granada, they are initiating all the work necessary to proceed to the next stage: the communication and dissemination of all the information obtained regarding this map. Always bearing in mind the capability of the SDI's to keep updating and comparing its georeferenced contents and data.

NOTE

[1] Granada's Parliamentary Commissioner for Administration, 31st of January, 1909.

[2] Granada's Municipal Historical Archive. Year 1909. Bundle 2217. «Negotiations and agreements for the Population Map of Granada by the Institute of Geography and Statistics».

[3] Ibidem.

[4] Granada's Parliamentary Commissioner for Administration, 3rd of February, 1909.

[5] Granada's Parliamentary Commissioner for Administration, 13th of February, 1909.

[6] Granada's Parliamentary Commissioner for Administration, 9th of February, 1909.

[7] Ibidem

[8] The Council still keeps a copy in the research room of the Municipal Historical Archive.

[9] Many have been the definitions given since their appearance, anyway, we want to highlight the one given in 1990 by the National Centre for Geographic Information and Analysis (NCGIA) of the USA: A GIS is a "hardware, software and procedure system made to facilitate the management, manipulation, analysis, modelling, representation, and output of spatially georeferenced data; to solve complex problems of planning and managing." To which we want to add its value for

the scientific research.

[10] (Knowles, December, 2005)

[11] (European Directive 2007/2/EC, 2007)

[12] (Rumsey & Williams, March, 2002)

[13] Its definition can be quite similar to the one of acoustic contamination, but referred to the graphic field. It refers to the graphic contamination that occurs as a result of scanning an analogical photograph

[14] (European Directive 2007/2/EC, 2007)

[15] The original map, done sheet by sheet, presented several issues that had to be corrected. For example, the level curves were different on the joints of the sheets and the shadows of the trees showed different angles according to the different draughtsmen and their position in the drawing table.

[16] That "...aims to obtain digital aerial orthophotographs with a resolution of 25 or 50 cm and DEM models of high accuracy of all the Spanish territory, with an update period of 2 or 3 years, according to the areas. It's a cooperative financed between the Spanish General Government Administration and the Spanish Autonomous Communities". Its an SDI which web site is: <http://www.ign.es/PNOA/>

REFERENCES

Balletti, C. (2000). Analytical and quantitative methods for the analysis of the geometrical content of historical cartography. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, 33(B5/1; Part 5), 30-37.

Bosque González, I. d., García Ferrero, S., Gómez Nieto, I., Martín-Forero Morente, L., & Ramiro Fariñas, D. (Julio 2010). Cartografía y demografía histórica en una IDE. WMS del plano de Madrid de "Facundo Cañada". *RCG Revista Catalana de Geografía*, XV(40).

Calatrava Escobar, J., & Ruiz Morales, M. (2005). Los planos de Granada: 1500-1909. *Cartografía urbana e imagen de la ciudad*. Granada: Diputación de Granada.

Camarero Bullón, C., Ferrer Rodríguez, A., & Nieto Calmaestra, J. A. (2012). El levantamiento del Plano Geométrico de la ciudad de Granada (Siglo XIX): Una historia interminable. Granada: Editorial de la Universidad de Granada (eug).

Dávila Martínez, F. J., & Camacho Arranz, E. (Octubre 2012). Georeferenciación de documentos cartográficos para la gestión de archivos y cartotecas. *Propuesta metodológica*. *Revista Catalana de Geografía*, XVII, IV época(46).

Directiva Europea 2007/2/EC. (2007, 14-Marzo). INSPIRE. Infrastructure for Spatial Information in the European Community. From <http://inspire.ec.europa.eu/>

Fernández Wyttenbach, A., & Bernabé Poveda, M. Á. (n.d.). El Proyecto Cartovirtual: Cartoteca Nacional Histórica Virtual. *Revista Catalana de Geografía*, 15(41).

Frailé Narváez, M. (Octubre, 2012). La utilización de la tecnología digi-

tal en el estudio e interpretación de la cartografía histórica. El caso de la Costa de Buenos Aires. Segundo Encuentro Regional de Patrimonio Cultural Marítimo y Costero. Rosario, Argentina.

González, C., Capdevila, J., Rodríguez, A., & Bonilla, R. (2008). WMS del primer catastro moderno de España, Hojas Kilométricas. V Jornadas Técnicas de la IDE de España (JIIDE). Tenerife.

Gutiérrez González, R., Martín-Forero Morente, L., García Ferrero, S., Bosque González, I. d., & Ramiro Fariñas, D. (2013). HISDI-MAD: IDE histórica de la ciudad de Madrid Patrimonio cartográfico y demográfico a principios del S. XX. IV Jornadas Ibéricas de Infraestructura de Datos Espaciales (JIIDE). Toledo.

Knowles, A. K. (December, 2005). Historical Uses of GIS. Future Foundations: Mapping the Past, Building the Philadelphia GeoHistory Network (PACSCL symposium). Philadelphia.

Ministerio de Fomento. Gobierno de España. (2014). IDEE. Infraestructura de Datos Espaciales de España. Retrieved 2014 31-Julio from Mundo IDE: <http://www.idee.es/web/guest/introduccion-a-las-ide>

Rumsey, D., & Williams, M. (March, 2002). Historical Maps in GIS. In A. K. Knowles, Past Time, Past Place: GIS for History. California: ERSI.

Sánchez Méndez, F. J. (2009). Georeferenciación de Cartografía: Datos Raster y Vectoriales. EOSGIS SL.

Una Cartografía Inédita de Granada a Comienzos del S. XX: Bases Para su Integración en un SIG

1. UN PLANO DE GRANADA A COMIENZOS DEL S. XX. DOS VERSIONES

1.1 LA GESTACIÓN DEL PLANO DE GRANADA DE 1909

Tras cinco décadas convulsas de transformación urbana en Granada, la apertura de la Gran Vía de Colón entre 1895 y 1910 ponía punto final al episodio de la nueva ciudad decimonónica. Paralelamente a la evolución de la imagen de la ciudad, se trabajaba en mejorar las condiciones de las infraestructuras urbanas. En 1908 los ingenieros municipales estaban inmersos en la planificación de una nueva red de canalizaciones de aguas (1), encontrándose con el inconveniente de no disponer de un plano en el que se representase el trazado real de la ciudad.

La situación generada hizo actuar al Ayuntamiento, cuya estrategia pasaba por negociar la elaboración del nuevo plano con la Dirección del Instituto Geográfico y Estadístico. Para ello, José Gómez Tortosa,

alcalde de la ciudad, solicitó ayuda a los Diputados a Cortes por Granada, Manuel Rodríguez Acosta, Antonio Marín de la Bárcena, Juan R. Lachica y el Conde de Castillejo (2).

Las gestiones fueron fructíferas y el 29 de enero de 1909, el Director General de la Administración Local se dirigió al Gobernador Civil y al Alcalde para exponerle que el Ministro de Instrucción y el Director del Instituto Geográfico y Estadístico ofrecían los medios y el personal cualificado para realizar los trabajos de levantamiento del ansiado plano. El coste de los trabajos debía asumirlo el propio Ayuntamiento y el tiempo estimado para la realización de los trabajos sería de tres meses.

El Ayuntamiento celebró una sesión extraordinaria con carácter urgente el 30 de enero, en la que se debatió sobre el ofrecimiento realizado por el Director del Instituto Geográfico y Estadístico, y en la que se decidió aceptarlo, así como las condiciones de pago de los trabajos, que ascendían a 27.000 Ptas. en concepto de retribución y costes de dietas y traslado de

material, de siete ingenieros geógrafos y diecinueve topógrafos. Además el Ayuntamiento debía proporcionar un local para oficinas y facilitar 72 peones, todo lo cual se valoraba en otras 11.000 Ptas (3).

El 2 de febrero llegaron a la ciudad el Ingeniero Jefe de los trabajos, Carlos Guillén y Barranco, el Topógrafo Ernesto Angulo Ponce de León y el Ingeniero geógrafo Paulino Martínez Cajón, a fin de planificar los trabajos (4). En los días siguientes se produjo la llegada de los técnicos restantes, quedando conformado el equipo con Carlos Guillén como Ingeniero Jefe, con la asistencia de dos topógrafos; seis brigadas, cada una de ellas compuesta por un Ingeniero geógrafo y tres topógrafos auxiliares de geografía; y dos portamiras.

Posteriormente se unió al equipo un ingeniero geógrafo más (5), comenzando los trabajos el día 15 de febrero (6).

1.2 LA ELABORACIÓN DEL PLANO DE GRANADA DE 1909

Para el desarrollo de los trabajos, en el que finalmente intervinieron ocho ingenieros y veintitrés topógrafos, se optó por dividir el plano de la ciudad en 11 hojas o minutas. Se estableció una base en el Paseo del Violón y desde allí se calcularon los vértices situados en una serie de torres: la de la Catedral, la Torre de la Vela, la de los Escolapios, la del Seminario, la de la Iglesia de San Cristóbal, la del Monasterio de San Jerónimo y en otros puntos de la ciudad como la Ermita de San Miguel, la Cruz de Piedra y el Carmen de los Mártires. Se hicieron comprobaciones desde otra base instalada en la Plaza Bibarrambla, obteniéndose un error de dos decímetros (7).

Sobre esta triangulación levantaron una red de polígonos de 3.500 vértices, midiéndose desde cada punto de la poligonación, con cinta, todos los elementos a reflejar en el plano, tales como medianeras de las casas, farolas, árboles, bocas de riego, urinarios, etc.

Las mediciones practicadas por los topógrafos eran representadas manzana a manzana, con referencia al polígono y a la zona correspondiente. Aunque los criterios de representación de las diferentes minutas de trabajo eran las mismas para todos los topógrafos, existían diferencias de unos a otros. La labor de cosido de las distintas zonas representadas, unificaría finalmente el criterio, obteniéndose de esta manera las 11 Hojas a escala 1:2000 en las que quedó dividido el plano de la ciudad (Fig.1).

Para su presentación final, los delineantes del Instituto recompusieron el plano, en base a 16 hojas, numeradas de oeste a este y de norte a sur, aprovechando los vacíos para insertar las leyendas, así como un extenso callejero. Se incluyó además el color en el dibujo, representándose los jardines y zonas de bosque en verde; los ríos, acequias, fuentes y estanques en celeste; los edificios singulares en naranja y el resto de edificios en un tono siena. La labor de cosido de las 16 hojas, daba como resultado un plano cuadrado de 225 x 230 cm, el cual podía perfectamente ser enmarcado y expuesto al público (8).

Al final se editaron las dos versiones de los planos; las 11 minutas de trabajo para uso técnico del Ayuntamiento y la versión ilustrada. La edición de

las 11 minutas de trabajo fue grafiada con el membrete Plano de población. Ayuntamiento de Granada. Cuenta con las hojas numeradas y un pequeño croquis para su composición.

2. EL VALOR DE LA CARTOGRAFÍA HISTÓRICA

En las ciudades contemporáneas, como si de palimpsestos mal borrados se tratase, cabe la posibilidad de detectar sobre su superficie huellas que permiten identificar vestigios conservados de su pasado más remoto.

En el campo específico de la investigación urbana, las fuentes cartográficas históricas aportan una gran ayuda para la identificación y comprensión –lectura- de estas huellas o capas que aún quedan “sin borrar”, y con ello, la determinación de los procesos de transformación sufridos por las ciudades en el tiempo. Esto se debe a que tienen la capacidad de aportar información esencial para la reconstrucción de lugares alterados o bien desaparecidos. Pero no reside únicamente ahí el valor de estas fuentes documentales; también registran las actitudes de aquellos que las confeccionaron, representando así la visión que del mundo tenían las sociedades que las hicieron posible.

3. LAS TIG EN LAS INVESTIGACIONES SOBRE HISTORIA URBANA

En el seno de las nuevas tecnologías dedicadas a la información y comunicación (TIC), las Tecnologías de la Información Geográfica (TIG) están experimentando un gran desarrollo merced al extraordinario servicio que están prestando en ámbitos tan dispares como la gestión y uso del medio ambiente, la ordenación del territorio, la planificación y gestión urbanística, del transporte, de los servicios públicos, etc.

En general, estas tecnologías se caracterizan por utilizar las posibilidades tecnológicas y metodológicas inherentes a las nuevas tecnologías de la información –más en concreto los Sistemas de Información Geográfica (SIG) (9), la Teledetección y la Cartografía Digital- en las investigaciones de carácter geográfico.

Hemos utilizado términos tales como “investigación”, “cartografía histórica” y “nuevas tecno-

logías”. Seguidamente trataremos de relacionarlos a propósito de lo que se conoce como HGIS.

3.1 ¿QUÉ SE ENTIENDE POR HISTORICAL GIS (HGIS) O SIG HISTÓRICO?

En principio, cualquier investigación histórica que utilice Sistemas de Información Geográfica podría considerarse como un HGIS. Pero para ser más precisos, debemos insistir en que se trata más bien de una metodología científica, tal y como nos asegura Anne K. Knowles. De hecho, los HGIS disfrutan de un conjunto de características metodológicas que nos ayudan a deducir su potencial (10):

1. Los interrogantes son siempre de naturaleza geográfica, circunstancia que condiciona notablemente los resultados de la investigación.
2. La evidencia histórica también se consigue trabajando sólo a partir de datos geográficos.
3. Las claves del modelo analítico se encuentran en el uso de una o varias bases de datos en las que se registra la información tanto temporal como de ubicación.
4. Los resultados de las investigaciones se representan mediante nuevos mapas generados a partir de otros que son incapaces de evidenciar por sí solos las relaciones espaciales existentes entre cada uno de ellos, así como los modelos de cambio que han tenido lugar a lo largo del tiempo.

3.2 LAS INFRAESTRUCTURAS DE DATOS ESPACIALES (IDE) Y LA CARTOGRAFÍA HISTÓRICA

Los avances tecnológicos que se están produciendo en los últimos años permiten, cada vez con mayor frecuencia, iniciativas que tratan de utilizar los SIG y servidores de mapas en los estudios y difusión de cartografías históricas, siendo por ello conocidas como IDE históricas.

Basadas en la directiva europea INSPIRE (11) (Infrastructure for SPatial InfoRmation in Europe), las IDE se postulan como la solución tecnológica más adecuada para compartir y publicar cualquier tipo de información geográfica relacionada con las cartografías históricas; no existe mejor medio que Internet para dar un conocimiento generalizado de dicha información.

4. UN SIG DEL PLANO DE POBLACIÓN DE GRANADA DE 1909

La que en un principio se ha presumido como una buena base tanto documental, como geométrica y topográfica del plano, algo que posteriormente se vería ratificado, se convirtió en un argumento de peso para decidir su introducción en un SIG y convertirlo por tanto en un SIG histórico o HGIS, con las ventajas que ello comporta.

Se ha partido de un plano original editado en su versión de 11 minutos cuyas condiciones de conservación son relativamente aceptables, si bien presentan un ligero deterioro tras el paso del tiempo con pequeñas roturas en sus bordes y algunas manchas de humedad, pero manteniendo en general la claridad y brillantez que inicialmente tendrían sus dibujos y rotulaciones.

En cuanto a la información aportada por el plano, decir que su propia leyenda –titulada “Signos convencionales”– hace la siguiente relación de elementos representados: Árbol, Alumbrado, Boca de riego, Farol, Farola, Id. de luz eléctrica, Límite de fachada, Linde, Poste de tranvía, Tapia, Valla, Verja, Urinario, Vértice de poligonación. A esta información habría que añadir la que hace referencia a las elevaciones del terreno mediante las habituales curvas de nivel, una cada 5 metros, desde la cota 660 hasta la cota 850 (en metros).

Cada hoja se encabeza, a la izquierda, con el título “Plano de población”; a la derecha, con el título “Ayuntamiento de Granada”; y en el centro se indica el número de Hoja correspondiente. Hoja cuya situación en la composición general del mapa se indica con un pequeño esquema que puede verse en alguna de las cuatro esquinas de cada Hoja, si bien prevalece la esquina superior izquierda.

Ninguna Hoja hace referencia a la escala utilizada, ni tampoco deja ver escala gráfica alguna. La mera comparación con otros mapas, tanto históricos como actuales, nos permite confirmar que la ciudad está representada a escala 1/2000. Como tampoco indica la orientación que tiene respecto al Norte geográfico, si bien puede comprobarse que eje Norte-Sur coincide con la vertical del plano, tal y como viene siendo costumbre.

Finalmente queremos destacar la información situada en las cuatro esquinas de cada hoja que

ha sido crucial para una primera georreferenciación relativa de cada una de ellas. Nos referimos a la que hace alusión a unas coordenadas específicas del plano mediante una cuadrícula de 200x200 metros. Cada Hoja la componen 5 cuadrículas en la dirección Norte-Sur y 7 cuadrículas en la dirección Este-Oeste (Fig.2). En su globalidad, el plano abarcaría desde las coordenadas (7900,12500) en su esquina superior izquierda, hasta las coordenadas (13500,8500) en su esquina inferior derecha.

4.1 ESCANEADO Y TRATAMIENTO GRÁFICO CON LIMPIEZA DE “RUIDOS” Y DESPERFECTOS

El proceso de introducción del mapa en un SIG se inicia modificando su inestable soporte en papel por otro digital mediante el escaneo de sus 11 hojas –obteniendo así otras tantas imágenes ráster– a la mayor resolución posible (12).

Una vez escaneadas las hojas, se procede a tratarlas gráficamente mediante un editor de gráficos rasterizados, para eliminar así más fácilmente los desperfectos y “ruidos” que entorpezcan las futuras operaciones de adaptación al SIG

El tratamiento gráfico consiste básicamente en convertir cada imagen ráster a escala de grises, con 256 niveles de gris, desde 0 (negro) a 255 (blanco). No obstante, al tratarse de un proceso automatizado, los algoritmos que operan en la herramienta informática no distinguen entre huella gráfica con valor documental y mancha o desperfecto existente en la imagen. Es por este motivo que se hace necesario proceder a una cuidada “limpieza manual” de los ruidos gráficos (13) y desperfectos existentes en todas y cada una de las hojas del mapa (Fig.3); procedimiento que cabe suponer es especialmente lento y delicado.

4.2 GEORREFERENCIACIÓN SEGÚN LAS COORDENADAS ORIGINALES DEL PLANO Y RECORTE DE LAS HOJAS

El proceso de georreferenciación consiste en ubicar la representación de un objeto en el espacio tridimensional con respecto a la Tierra, utilizando un sistema de coordenadas y DATUM determinado. Generalmente, el proceso de georreferenciación de la imagen ráster de un territorio –se trate de un mapa o de una fotografía– se consigue seleccionando en ella determinados puntos, conocidos como

puntos de control sobre el terreno o GCP (Ground Control Point), para posteriormente asignarles las coordenadas geográficas de sus referentes. De esta forma, la imagen ráster se “transformará” y todos sus puntos tenderán a localizarse en las coordenadas que les corresponden.

Pero antes de la georreferenciación propiamente dicha de nuestro Plano de Población de Granada, se decide minimizar las deformaciones que haya podido sufrir el papel a lo largo del tiempo (esencialmente dilataciones por humedades) y los presumibles errores cometidos durante el proceso de escaneo de las hojas (entre otras causas por la hipotética falta de calibración del escáner utilizado) (14). Esta primera corrección geométrica hecha sobre las imágenes ráster de las hojas se ha efectuado mediante una georreferenciación relativa basada en la información que ellas mismas aportan, la que se deriva del sistema de coordenadas original del plano.

Los puntos de control o puntos GCP de esta primera georreferenciación se han seleccionado, por tanto, a partir de la cuadrícula original de 200x200 metros que acompaña a cada hoja y las coordenadas (X,Y) que se indican en sus cuatro esquinas.

El hecho de que los puntos GCP seleccionados se encuentren alineados no ha sido un impedimento para que los errores RMS (Root Mean Square or Error Medio Cuadrático) obtenidos en cada hoja no superen el valor de 0,135 (valor del desfase existente entre la localización real y la localización de los puntos GCP transformados por la aplicación de dicha transformación geométrica), considerándose bastante aceptable. De hecho se recomienda que no supere el valor de 0,5 (RMS \leq 0,5), lo que significa que debe ser inferior a la mitad del tamaño del pixel de la imagen a transformar.

4.3 OBTENCIÓN DEL PLANO EN SU INTEGRIDAD. UNIÓN Y “COSIDO” DE LAS HOJAS

Dada la alta resolución de las diferentes imágenes ráster obtenidas (600 dpi), la herramienta utilizada para la unión de las 11 hojas fue nuevamente un editor de gráficos rasterizados, no utilizándose en este caso la herramienta SIG.

Como cada hoja disponía de puntos coincidentes –en ocasiones hasta 24– con sus hojas adyacentes o contiguas, la composición del plano se limitó a

hacer coincidir dichos puntos como si de un sencillo rompecabezas se tratase.

Finalmente se obtuvo una nueva imagen ráster de alta resolución que configuraba el Plano de Población en su integridad, aunque nuevamente sin georreferenciar. Sólo quedaba tratar el nuevo plano de manera que las uniones o "cosido" (15) entre las hojas fuera la adecuada, para lo cual volvió a utilizarse un editor de gráficos rasterizados (Fig.4).

4.4 GEORREFERENCIACIÓN DEL NUEVO PLANO. PUNTOS DE CONTROL O PUNTOS INVARIANTES

Los puntos de control (GCP) -en este caso cuidadosamente elegidos de entre aquellos puntos que se han mantenido invariantes a lo largo del tiempo- fueron determinados mediante GPS bifrecuencia Leica 1200 operando en modo diferencial. El receptor móvil estaba equipado con tarjeta SIM que permitía conexión a internet e intercambio de datos con un servidor que facilitaba las correcciones diferenciales en tiempo real. Dichas correcciones diferenciales fueron suministradas por el servidor de la Red Andaluza de Posicionamiento (RAP). El protocolo de comunicación en internet es el NTRIP (Network Transport RTCM vía Internet Protocol).

La RAP está compuesta por un total de 22 estaciones distribuidas por todo el territorio andaluz (España), cuyas coordenadas son conocidas en el sistema ETRS89 y que pueden suministrar las correcciones diferenciales según dos criterios diferentes: a) referidas al ajuste de la red (correcciones de red) o b) referidas a la estación más próxima al lugar en el que se encuentra el GPS móvil (corrección por estación más cercana). En nuestro caso seleccionamos el criterio basado en correcciones de red, ya que el error cometido tiene un carácter más global que en el caso de la estación más cercana. El error medio fue de 2,7 cms, que implica una exactitud en la determinación de los puntos de control más que suficiente comparado con los errores inherentes a la escala del plano y sus deformaciones causadas por el paso del tiempo.

4.5 GEORREFERENCIACIÓN DEL PLANO. PROCESO Y PRIMEROS RESULTADOS

Tomando como referencia los puntos GCP seleccionados (fáciles de identificar en el plano, fijos en el tiempo y homogéneamente distribuidos), se procede a su georreferenciación mediante la herramienta

SIG introduciendo cuidadosamente los puntos en el plano y asignándoles sus respectivas coordenadas obtenidas mediante GPS. Finalmente, el error RMS es nuevamente inferior a 0,5 por lo que se considera aceptable el resultado y suficiente, por tanto, el número de puntos considerado.

Una vez georreferenciado el plano, se está en condiciones de incorporar al SIG una nueva capa con otra imagen ráster igualmente georreferenciada en ETRS89, obtenida en esta ocasión del servicio que ofrece el Plan Nacional de Ortofotografía Aérea (PNOA) (16); concretamente nos referimos a una ortofoto reciente de la ciudad de Granada.

Tras aplicar una transparencia del 100% a los píxeles con el valor 255 en sus tres canales RGB -y que corresponden al fondo del plano (en color blanco)- y dejar la capa de la ortofoto actual de Granada activa, ya es posible atisbar el potencial que el nuevo SIG ofrece de cara a un futuro análisis pormenorizado y documentalmente acreditado de la transformación de la ciudad en los últimos 100 años (Fig.5).

4.6 VECTORIZACIÓN DE ENTIDADES GRÁFICAS Y ASIGNACIÓN DE INFORMACIÓN

Llegado es el momento de crear nuevas capas o layers vectoriales que permitan ir incorporando la información que el propio plano aporta así como aquella otra externa que en un futuro la complete y permita efectuar nuevos análisis espaciales:

- Manzanas y solares (polígonos). A partir de los límites de fachada y lindes. Con información sobre sus superficies y perímetros.
- Parques, bosque y jardines (polígonos). Con información sobre sus superficies. Lo que permitirá realizar futuros análisis de proximidad mediante buffers.
- Arbolado (puntos)
- Vías y plazas (líneas). Identificadas con los nombres asignados en el plano y la actual denominación (en su caso). Especificando si se trata de calles, callejones, plazas, placetas, caminos, veredas... Lo que permitirá hacer futuros análisis de redes con cálculos de rutas óptimas...
- Curvas de Nivel (líneas). Con información sobre sus diferentes cotas. Lo que permitirá obtener una nueva información como es el Mapa Digital de Elevaciones (MDE) de aquel entonces según la información aportada por el propio plano.

- Hidrografía (polígonos). Especificando si se trata de ríos, acequias, depósitos...
- Líneas férreas y de tranvías (líneas). Lo que también permitirá hacer futuros análisis de redes en base a estas líneas.
- Alumbrado (puntos). Especificando si se trata de faroles, farolas o Id de luz eléctrica. Permitiendo realizar futuras zonificaciones en base a las condiciones de iluminación de la ciudad.

Para completar esta información se opta por incorporar una nueva capa ráster del MDE (Modelo Digital de Elevaciones) actual de la zona de estudio. Nueva capa que permitirá estudiar la geomorfometría de la zona y efectuar futuros análisis del relieve, estudios de iluminación y visibilidad, etc.

5. IDE HISTÓRICA DEL PLANO DE POBLACIÓN DE GRANADA A COMIENZOS DEL S.XX

En el SMLab_UGR (Survey and Modelling Lab of Architectural Heritage) de la Universidad de Granada, se están iniciando los trabajos necesarios para acometer la siguiente fase de comunicación y difusión de los resultados obtenidos hasta el momento en relación con este plano, sin olvidar la capacidad que toda IDE tiene de seguir actualizando y comparando sus contenidos, sus datos, siempre de forma georreferenciada.

NOTA

[1] El Defensor de Granada, 31 de enero de 1909.

[2] Archivo Histórico Municipal de Granada. Año 1909. Legajo 2217. «Gestiones y acuerdos del levantamiento del Plano de Granada por el Instituto Geográfico y Estadístico».

[3] *Ibidem*.

[4] El Defensor de Granada, 3 de febrero de 1909.

[5] El Defensor de Granada, 13 de febrero de 1909.

[6] El Defensor de Granada, 9 de febrero de 1909.

[7] *Ibidem*.

[8] El Ayuntamiento conserva un ejemplar en estas condiciones en la sala de investigadores del Archivo Histórico Municipal.

[9] Han sido muchas las definiciones que de ellos se han dado desde su aparición, aunque por su adecuación a la situación actual destacamos la que en 1990 fuera dada por el National Center for Geographic Information and Analysis (NCGIA) de USA: Un SIG sería “un sistema de hardware, software y procedimientos elaborados para facilitar la obtención, gestión, manipulación, análisis, modelado, representación y salida de datos espacialmente referenciados, para resolver problemas complejos de planificación y gestión”; a lo que añadiríamos, su utilidad para la investigación.

[10] (Knowles, December, 2005)

[11] (Directiva Europea 2007/2/EC, 2007)

[12] (Rumsey & Williams, March, 2002)

[13] Concepto equiparable a lo que se entiende por contaminación acústica, aunque desde un punto de vista gráfico. Sea el caso de la contaminación digital que se obtiene al escanear el granulado característico de una fotografía analógica.

[14] (Sánchez Méndez, 2009)

[15] El levantamiento a mano del plano original, realizado hoja por hoja, queda evidenciado por numerosas circunstancias, algunas de ellas ciertamente anecdóticas. Por un lado las curvas de nivel presentan diferentes curvaturas en numerosos puntos de unión (lo que ha debido corregirse en el nuevo plano), y por otro, las sombras arrojadas en la representación de los árboles muestran diferentes ángulos en función del lado de la mesa en el que se encontrase el delineante de turno.

(16) Que “tiene como objetivo la obtención de ortofotografías aéreas digitales con resolución de 25 ó 50 cm y modelos digitales de elevaciones (MDE) de alta precisión de todo el territorio español, con un período de actualización de 2 ó 3 años, según las zonas. Se trata de un proyecto cooperativo y cofinanciado entre la Administración General del Estado y las Comunidades Autónomas”. Se trata de una IDE cuya dirección web es: <http://www.ign.es/PNOA/>

REFERENCIAS

Balletti, C. (2000). Analytical and quantitative methods for the analysis of the geometrical content of historical cartography. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, 33(B5/1; Part 5), 30-37.

Bosque González, I. d., García Ferrero, S., Gómez Nieto, I., Martín-Forero Morente, L., & Ramiro Fariñas, D. (Julio 2010). Cartografía y demografía histórica en una IDE. WMS del plano de Madrid de “Facundo Cañada”. *RCG Revista Catalana de Geografía*, XV(40).

Calatrava Escobar, J., & Ruiz Morales, M. (2005). Los planos de Granada: 1500-1909. Cartografía urbana e imagen de la ciudad. Granada: Diputación de Granada.

Camarero Bullón, C., Ferrer Rodríguez, A., & Nieto Calmaestra, J. A. (2012). El levantamiento del Plano Geométrico de la ciudad de Granada (Siglo XIX): Una historia interminable. Granada: Editorial de la Universidad de Granada (eug).

Dávila Martínez, F. J., & Camacho Arranz, E. (Octubre 2012). Georreferenciación de documentos cartográficos para la gestión de archivos y cartotecas. Propuesta metodológica. *Revista Catalana de Geografía*, XVII, IV época(46).

Directiva Europea 2007/2/EC. (2007, 14-Marzo). INSPIRE. Infrastructure for Spatial Information in the European Community. From <http://inspire.ec.europa.eu/>

Fernández Wyttenbach, A., & Bernabé Poveda, M. Á. (n.d.). El Proyecto Cartovirtual: Cartoteca Nacional Histórica Virtual. *Revista Catalana de Geografía*, 15(41).

Frailé Narváez, M. (Octubre, 2012). La utilización de la tecnología digital en el estudio e interpretación de la cartografía histórica. El caso de la Costa de Buenos Aires. Segundo Encuentro Regional de Patrimonio Cultural Marítimo y Costero. Rosario, Argentina.

González, C., Capdevila, J., Rodríguez, A., & Bonilla, R. (2008). WMS del primer catastro moderno de España, Hojas Kilométricas. V Jornadas Técnicas de la IDE de España (JIIDE). Tenerife.

Gutiérrez González, R., Martín-Forero Morente, L., García Ferrero, S., Bosque González, I. d., & Ramiro Fariñas, D. (2013). HISDI-MAD: IDE histórica de la ciudad de Madrid Patrimonio cartográfico y demográfico a principios del S. XX. IV Jornadas Ibéricas de Infraestructura de Datos Espaciales (JIIDE). Toledo.

Knowles, A. K. (December, 2005). Historical Uses of GIS. Future Foundations: Mapping the Past, Building the Philadelphia GeoHistory Network (PACSCL symposium). Philadelphia.

Ministerio de Fomento. Gobierno de España. (2014). IDEE. Infraestructura de Datos Espaciales de España. Retrieved 2014 31-Julio from Mundo IDE: <http://www.idee.es/web/guest/introduccion-a-las-ide>

Rumsey, D., & Williams, M. (March, 2002). Historical Maps in GIS. In A. K. Knowles, Past Time, Past Place: GIS for History. California: ERSI.

Sánchez Méndez, F. J. (2009). Georreferenciación de Cartografía: Datos Raster y Vectoriales. EOSGIS SL.