



Tesis doctoral

APROXIMACIÓN A LA TÉCNICA
CARTOGRÁFICA EN **LA ILUSTRACIÓN**
A TRAVÉS DE LAS PLANTAS URBANAS
DE CÁDIZ

por:
Joaquín Aguilar Camacho

Directores:
Dr. José Antonio Barrera Vera
Dr. Gabriel Granado Castro

Dpto de Ingeniería Gráfica
Universidad de Sevilla



(...) Tan pronto como asumimos la necesidad de cuestionar, probar, de ser críticos con las soluciones vigentes a un problema, el objeto de una investigación está servido.

(Harley 1968, p. 62)

AGRADECIMIENTOS

Deseo expresar mi agradecimiento a todos aquellos familiares, amigos, profesores, alumnos y compañeros que, de una forma u otra, me han ayudado a la realización de este trabajo y, muy especialmente:

Al Dr. D. José Antonio Barrera Vera, por sus sabios consejos y por su constante apoyo y estímulo. También al Dr. D. Gabriel Granado Castro, no sólo por su valiosa codirección académica, sino además por el interés personal mostrado para que realizase la presente investigación.

A mis compañeros del Dpto. de Ingeniería Gráfica, por las sugerencias y ayudas prestadas.

A Frédéric Borowczyk, Emmanuel Pavy y Vincent Reniel de la Oficina de Investigación Documental y del Departamento de Mapas y Planos de la Bibliothèque nationale de France, por el auxilio en la búsqueda y localización de ejemplares cartográficos.

También a todo el personal del Archivo General Militar de Madrid y a Dña. Rocío de los Reyes Ramírez, del Archivo Intermedio Militar Sur (Sevilla), por la atención y las facilidades recibidas. De igual modo, a D. Manuel Catalán Morollón, Jefe del Servicio de Geomagnetismo del Real Instituto y Observatorio de la Armada (San Fernando), por su colaboración y asesoramiento.

Por último, a mi esposa y mis hijos, por la paciencia y por concederme generosamente gran parte de su tiempo durante estos años. Espero poder compensarles pronto.

A mis padres, por estar siempre ahí.



UNIVERSIDAD
de SEVILLA

Tesis doctoral

APROXIMACIÓN A LA TÉCNICA
CARTOGRÁFICA **EN LA ILUSTRACIÓN**
A TRAVÉS DE LAS PLANTAS URBANAS
DE CÁDIZ

por:

Joaquín Aguilar Camacho

Directores:

Dr. José Antonio Barrera Vera
Dr. Gabriel Granado Castro

Departamento de Ingeniería Gráfica
Universidad de Sevilla

Sevilla, Mayo 2017

RESUMEN

En los últimos años, las líneas de investigación en el campo de la exactitud posicional han despertado un creciente interés, dando lugar a un sustancial incremento de las publicaciones científicas en este ámbito.

Precisamente, esta última finalidad justifica y sostiene el propósito de la presente investigación, que tiene por objeto fundamental determinar la calidad y exactitud posicional en la cartografía urbana de la plaza de Cádiz elaborada durante el siglo XVIII, período histórico de mayor esplendor y transformación de la ciudad, y que ha legado una de las mejores colecciones sobre cartografía urbana de la historia de nuestro país.

Paralelamente se revisan escalas, fechas de datación y autorías de todos los ejemplares

El modelo de análisis adoptado es objeto de discusión y sus resultados son interpretados y confrontados. Las conclusiones testimonian, en términos generales, calidad y rigor en la técnica cartográfica de la época, aunque con excepciones.

PALABRAS CLAVE

Evaluación exactitud posicional, cartografía histórica, representación urbana, planos de Cádiz, MapAnalyst.

ABSTRACT

It is assessment the degree of positional accuracy about Cadiz preserved historical and urban cartography collection, corresponding to 18th, as well as of the cartographic technique applied.

Theoretical and empirical study of the methods postulated for this purpose in literature and the concretion of a suitable analysis model to evaluate the positional accuracy of this collection, are treated.

Checking of scales, orientations and the attainment of indicators, both analytical and graphical, under the principles of the two-dimensional regression and the multiquadratic interpolation (MQI), implemented in the specific software MapAnalyst, determine the applied analysis guidelines. Alternative procedures have also been developed for insertion and linkage of control points (CPs), in order to improve this process and minimize its bias.

Analytical model and its results are discussed and confronted. The conclusions show, in general terms, good quality and accuracy of the cartographic technique at the time, although with exceptions.

KEY WORDS

Assessment positional accuracy, historical cartography, urban drawings, maps of Cádiz, MapAnalyst.

SUMARIO

DE LOS CAPÍTULOS POSTERIORES

El contenido de la presente tesis doctoral ha sido estructurado en ocho capítulos, agrupados en tres partes claramente diferenciadas.

Primera parte: capítulos I, II y III.-

El Capítulo I es una introducción al problema genérico de la evaluación de la exactitud posicional en cartografía histórica, situándolo en el contexto de la cartografía urbana del Cádiz ilustrado.

El Capítulo II hace un recorrido pormenorizado por los métodos y procedimientos de análisis más importantes desarrollados en la literatura científica desde hace, aproximadamente, 150 años.

El Capítulo III formula los planteamientos investigadores intrínsecos a toda investigación.

Segunda parte: capítulos IV, V y VI.-

En el Capítulo IV se hace mención a una serie de aspectos formales, sobre los planos que integran la colección, que no dejan de ser importantes, pero que se apartan de la línea principal que atañe al problema formulado. Complementan la visión sobre el objeto de estudio aportada por el Capítulo I.

El Capítulo V se dedica exclusivamente a explicar las particularidades del modelo analítico adoptado para abordar el problema de partida. Se procede al testeo del modelo sobre una planta tipo y se verifica la validez de sus resultados.

También proponemos un procedimiento original y alternativo para la inserción y vinculación de nubes de puntos homólogos en planimetría urbana, que funciona bien en todos los casos estudiados.

El Capítulo VI aplica el modelo analítico definitivo al resto de planos de la colección, interpretándose los resultados de forma individual.

Tercera y última parte: capítulos VII y VIII.-

El Capítulo VII aborda la discusión del modelo analítico adoptado, en relación a otras tendencias seguidas en la literatura. También confronta los resultados particulares, a nivel de colección.

Por último, en el Capítulo VIII, se recopilan las principales conclusiones alcanzadas con la investigación y se aportan algunas sugerencias para futuros trabajos de carácter continuista.

Los anejoa I y II, en formato digital, que se acompañan, contienen el detalle de los informes de cálculo generados por la aplicación MapAnalyst y de los indicadores gráficos obtenidos para cada planta, respectivamente, a fin de facilitar su consulta pormenorizada.

Una lectura rápida de la tesis podría consistir en:

- ✓ Apartados 1, 2, 6 y 8, del Capítulo I.
- ✓ Apartado 5, del Capítulo II.
- ✓ Capítulo III.
- ✓ Apartados 1 y 2, del Capítulo IV.
- ✓ Apartados 1 y 3, del Capítulo V.
- ✓ Capítulos VII y VIII.

ÍNDICE
DE CONTENIDOS

CAPÍTULO I

CONSIDERACIONES PREVIAS

1. ÁMBITO DE LA INVESTIGACIÓN: OBJETO DE LA TESIS.....	3
2. CALIDAD Y EXACTITUD POSICIONAL EN CARTOGRAFÍA HISTÓRICA.....	4
3. LA REPRESENTACIÓN URBANA Y LA INGENIERÍA MILITAR EN LA EDAD MODERNA.....	8
El Renacimiento como punto de partida en la representación urbana.....	8
El modelo militar de intervención urbana.....	11
Influjo italiano en la representación de la ciudad.....	12
El plano urbano topográfico y la ingeniería militar francesa.....	19
4. EL CASO DE ESTUDIO: CÁDIZ.....	22
El enclave territorial de la bahía gaditana y su entorno.....	22
El desarrollo de la ciudad durante la Edad Moderna.....	22
El siglo XVIII: máximo esplendor en la producción cartográfica.....	26
5. NATURALEZA Y CARACTERÍSTICAS DE LOS ERRORES PRESENTES EN LOS MAPAS Y PLANOS HISTÓRICOS.....	34
Errores aleatorios.....	34
Errores sistemáticos.....	38
Otras fuentes de error.....	40
6. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA GENÉRICO OBJETO DE ESTUDIO.....	41
Variabilidad del objeto de estudio.....	42
Disparidad y dependencia de las metodologías.....	43
Búsqueda de un referente cartográfico comparable.....	48
Caracterización de las fuentes de error.....	50
Acceso a la cartografía histórica.....	50
7. INTERÉS, UTILIDAD Y NECESIDAD.....	53
8. ALTERNATIVAS EXISTENTES PARA ABORDAR LA SOLUCIÓN AL PROBLEMA.....	58

PRIMERA PARTE CONTEXTO INVESTIGACIÓN

CAPÍTULO II

ESTADO DE LA CUESTIÓN

1. LA EVALUACIÓN DE LA EXACTITUD POSICIONAL EN CARTOGRAFÍA HISTÓRICA: UNA REVISIÓN CRONOLÓGICA.....	67
Hitos en la historia del tratamiento del problema y sus orígenes en la literatura	67
El problema: una temática recurrente desde finales del s. XX.....	75
2. MÉTODOS PARA LA EVALUACIÓN DE LA EXACTITUD POSICIONAL EN CARTOGRAFÍA HISTÓRICA.....	85
Métodos basados en la comparación de características geométricas.....	86
a. Escalas.....	86
b. Distancias.....	90
c. Coordenadas	96
d. Superficies.....	103
e. Ángulos	107
f. Geometría lineales	109
Métodos basados en los principios de la regresión bidimensional y la interpolación multicuadrática (MQI)	111
a. Transformaciones lineales	113
b. Transformaciones polinómicas.....	114
c. Métodos de interpolación espacial.....	115
3. EXACTITUD POSICIONAL EN CARTOGRAFÍA HISTÓRICA Y URBANA: TRATAMIENTO EN LA LITERATURA	116
Exactitud posicional en cartografía histórica y urbana de Cádiz.....	116
Otros estudios sobre exactitud posicional en cartografía histórica y urbana.....	120
4. OTRAS FUENTES DOCUMENTALES DE INTERÉS	139
Sobre la cartografía histórica de Cádiz	139
Sobre el desarrollo urbano y la fortificación de Cádiz.....	141
5. RESUMEN Y CONCLUSIONES ACERCA DEL ESTADO DE LA CUESTIÓN	142

PRIMERA PARTE
CONTEXTO INVESTIGACIÓN

PRIMERA PARTE
CONTEXTO INVESTIGACIÓN

CAPÍTULO III
PLANTEAMIENTO INVESTIGADOR

1. DELIMITACIÓN DEL OBJETO DE ESTUDIO	147
2. INTERROGANTES DE LA INVESTIGACIÓN	149
3. HIPÓTESIS DE PARTIDA.....	150
4. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	151
5. ESTRUCTURA DE LA TESIS	153
6. METODOLOGÍA DE TRABAJO.....	159

SEGUNDA PARTE
CUERPO INVESTIGACIÓN

CAPÍTULO IV
PLANTAS URBANAS DE LA ÉPOCA

1. CRITERIOS DE SELECCIÓN	163
2. BÚSQUEDA Y LOCALIZACIÓN DE LOS EJEMPLARES	164
3. DESCRIPCIÓN DE LA COLECCIÓN DE PLANTAS URBANAS.....	167
Plantas urbanas de la primera mitad del s. XVIII	167
Planta nº 1	168
Planta nº 2	173
Planta nº 3	177
Planta nº 4	183
Planta nº 5	188
Planta nº 6	194
Planta nº 7	197
Planta nº 8	200
Planta nº 9	204

Planta nº 10.....	207
Planta nº 11.....	212
Planta nº 12.....	217
Plantas urbanas de la segunda mitad del s. XVIII.....	222
Planta nº 13.....	223
Planta nº 14.....	227
Planta nº 15.....	231
Planta nº 16.....	237
Planta nº 17.....	243
Planta nº 18.....	246
Planta nº 19.....	251
Planta nº 20.....	256
Planta nº 21.....	260

CAPÍTULO V
ESTADO DE LA CUESTIÓN

1. LA ELECCIÓN.....	265
2. DIGRESIÓN SOBRE MAPANALYST.....	267
Indicadores analíticos y gráficos.....	267
Opciones de transformación.....	268
Interfaza de usuario.....	269
Requisitos.....	270
Limitaciones.....	270
3. DESCRIPCIÓN DEL MODELO DE ANÁLISIS ADOPTADO.....	271

SEGUNDA PARTE
CUERPO INVESTIGACIÓN

Determinación de la escala teórica	271
Comprobación de la orientación	275
Tratamiento de las limitaciones presentes en MapAnalyst: depuración del modelo	278
El referente cartográfico	278
Importación de la cartografía	279
Tamaño máximo de la imagen.....	279
Inserción de puntos homólogos de control.....	280
Evaluación de la exactitud posicional con MapAnalyst: el modelo de análisis definitivo.....	288
Tipo de transformación aplicada	288
Indicadores analíticos obtenidos	289
Indicadores gráficos generados	290
4. ENSAYO SOBRE LA PLANTA N° 17: RESULTADOS E INTERPRETACIÓN	292
Escala teórica y real del plano.....	294
Orientación de la planta	296
Interpretación de los resultados generados por MapAnalyst.....	296
Error promedio cuadrático (RMSE)	296
Escala horizontal y vertical.....	296
Rotación horizontal y vertical	297
Malla de distorsión	297
Vectores de error e isolíneas de escala.....	299
Islíneas de rotación	301

CAPÍTULO VI

APLICACIÓN EXPERIMENTAL

1. EVALUACIÓN DEL GRADO DE EXACTITUD EN LAS PLANTAS DE LA COLECCIÓN.....	305
2. RESULTADOS E INTERPRETACIÓN.	305

SEGUNDA PARTE

CUERPO INVESTIGACIÓN

Planta nº 1	306
Planta nº 2	308
Planta nº 3	310
Planta nº 4	312
Planta nº 5	314
Planta nº 6	316
Planta nº 7	318
Planta nº 8	320
Planta nº 9	322
Planta nº 10	324
Planta nº 12	326
Planta nº 13	328
Planta nº 14	330
Planta nº 15	332
Planta nº 16	334
Planta nº 17	336
Planta nº 18	338
Planta nº 19	340
Planta nº 20	342
Planta nº 21	344

SEGUNDA PARTE
CUERPO INVESTIGACIÓN

CAPÍTULO VII
CONSIDERACIONES PREVIAS

1. EXACTITUD POSICIONAL DE LA COLECCIÓN	349
Distribución cronológica y origen de las plantas de la colección	356
Exactitud posicional de la colección	358
Exactitud posicional y estado del soporte	358
Exactitud posicional y autorías	360
Exactitud posicional de las plantas españolas vs francesas	363
Exactitud y número de puntos de control (CPs) utilizados	365
Exactitud y escalas	366
Influencia del castillo de San Sebastián en la exactitud de la colección	367
Patrones de comportamiento local de la incertidumbre	368
La colección ante los vigentes estándares de calidad posicional	373
2. ESCALAS EN LA COLECCIÓN.	378
Escalas teóricas y reales	378
Errores en el uso de las escalas	381
Relaciones entre escalas	382
3. ORIENTACIÓN DE LOS PLANOS DE LA COLECCIÓN Y ALINEACIÓN DE NORTES	384
Orientación de las plantas	384
Alineación de Nortes	384
Orientación rosa de los vientos vs trama urbana	385
4. VÍNCULOS ENTRE LOS PLANOS DE LA COLECCIÓN	388
5. DISCUSIÓN DEL MODELO DE ANÁLISIS	393
Conclusiones sobre el modelo de solución adoptado	393
Utilidad de los indicadores gráficos y analíticos empleados	394
Otros modelos aplicados en la literatura	396

TERCERA PARTE
**DISCUSIÓN RESULTADOS
Y CONCLUSIONES**

CAPÍTULO VIII
CONCLUSIONES

Sobre la colección y sus ejemplares 401

Sobre el modelo de solución 402

Sobre posibles pautas de comportamiento local en la incertidumbre posicional 402

Sobre la revisión de escalas, fechas y autorías 403

Sobre la exactitud posicional de la colección 403

Sobre el número de puntos de control utilizado 404

Sobre la influencia de la configuración del parcelario y del contorno en la exactitud 405

Sobre la calidad posicional y las escalas de la colección 405

Sobre la orientación de los ejemplares y la alineación de nortes 405

Sobre la vinculación entre los planos de la colección 406

FUENTES DE INFORMACIÓN
CONSULTADAS

Fuentes de información consultadas 411

TERCERA PARTE
**DISCUSIÓN RESULTADOS
Y CONCLUSIONES**

LA COLECCIÓN

PRIMER CUARTO



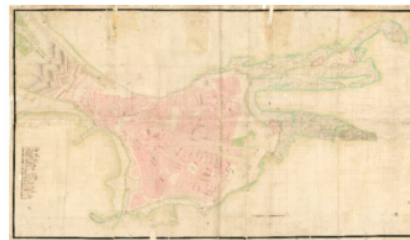
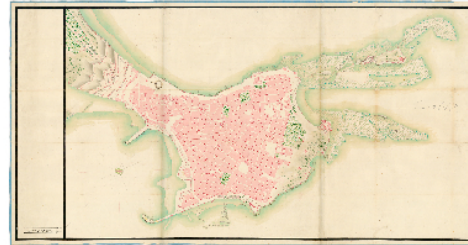
SEGUNDO CUARTO



TERCER CUARTO



ÚLTIMO CUARTO



0 0,5 1 m



El conocimiento de la cartografía histórica conservada es un campo de investigación que goza de gran interés y cuenta con una dilatada trayectoria en el ámbito científico, a la vez que resulta de una enorme complejidad por los múltiples matices y enfoques que en él tienen cabida. La evaluación de su fiabilidad constituye una de las piedras angulares que sustenta el saber en esta materia y, desde hace décadas, es un fecundo marco teórico y experimental de trabajo que cuenta con cuantiosas investigaciones, difundidas al más alto nivel en el ámbito científico y que ampara otras interesantes líneas de estudio.

El Capítulo I de esta tesis acomoda al lector en el objeto y contexto de la misma, como paso previo al establecimiento de las cuestiones preliminares presentes en toda investigación: el estado de la cuestión (al que se dedica el Capítulo II) y el planteamiento investigador seguido (que será abordado en el Capítulo III).

En el presente capítulo se definen los conceptos de calidad y exactitud posicional en cartografía histórica y se evalúan las opciones y condicionantes para su determinación. Por último, se sienta las bases que permiten concretar el objeto de estudio, justificar su interés y argumentar la necesidad de acometer la búsqueda de una solución al problema genérico de partida, dentro del ámbito geográfico y cartográfico delimitado en esta investigación.

CAPÍTULO I

CONSIDERACIONES PREVIAS

CAPÍTULO I

CONSIDERACIONES PREVIAS**1. ÁMBITO DE LA INVESTIGACIÓN: OBJETO DE LA TESIS**

Las primeras investigaciones divulgadas sobre exactitud posicional en cartografía de naturaleza histórica datan de mediados del siglo XIX. En aquellas fechas investigadores como Hermann Wagner (Wagner 1895) ya propusieron la utilización de métodos de visualización gráfica de los errores posicionales presentes en un mapa, a través del empleo de una malla de distorsión. Los trabajos posteriormente publicados durante la primera mitad del siglo XX utilizan enfoques metodológicos basados, todos ellos, en la comprobación mediante muestreo estadístico de posiciones y/o distancias, al objeto de determinar un error promedio global del mapa. Alfred Egerer (Egerer 1934) fue uno de los precursores en utilizar herramientas de visualización gráfica del error posicional de un mapa, mediante el uso de vectores de desplazamiento. No obstante, hasta el último tercio de siglo, las investigaciones desarrolladas en este ámbito son escasas y muchas de ellas han perdido vigencia ante el progreso de la ciencia y de la técnica.

A partir de la década de los sesenta el estudio de la exactitud posicional en cartografía histórica comienza a ser un tema recurrente en la literatura especializada. Con la entrada en escena de los

primeros computadores, se abren nuevos escenarios de investigación y surgen propuestas metodológicas alternativas para comprobar la exactitud posicional de un mapa. El análisis mediante regresión bidimensional y la interpolación multicuadrática constituirán el enfoque predominante hasta nuestros días. Sus algoritmos matemáticos quedarán implementados como utilidad de las principales aplicaciones software para GIS, popularizadas a partir de la década de los ochenta. También se mejorarán e implementarán nuevas soluciones de visualización gráfica del error, basadas en isolíneas de escalas y círculos de error.

En los últimos años, las líneas de investigación en el campo de la exactitud posicional han despertado un creciente interés, dando lugar a un sustancial incremento de las publicaciones científicas en este ámbito. Dos líneas de trabajo han centrado los principales esfuerzos: la optimización de las metodologías basadas en la regresión bidimensional; y su aplicación al ámbito de estudios de carácter diacrónico sobre la transformación, natural o artificial, del territorio.

La generalización de la regresión bidimensional como herramienta para la evaluación de la exactitud posicional en cartografía histórica, suscita una problemática muy específica. La gran diversidad de escalas, soportes, técnicas de trazado, etc..., plantean el reto y la necesidad de optimizar esta metodología para su adaptación a un marco

¹ Véase al respecto (Livieratos y Koussoulakou 2006, p. 138-140).

cartográfico muy heterogéneo. Algunos de estos problemas, como los relativos a la falta de información geodésica de un mapa, los criterios de selección de puntos de control o la optimización de los algoritmos matemáticos de transformación, han sido objeto de numerosos estudios durante las últimas dos décadas.

Por otro lado, también en los últimos años han cobrado gran interés los trabajos enfocados a dirimir las causas de la transformación del territorio y su paisaje a lo largo del tiempo, así como a interpretar y geolocalizar sus consecuencias de carácter social, económico, urbano, geológico y medioambiental. Este tipo de estudios se sustentan en las evidencias territoriales proporcionadas por la cartografía histórica y demandan el conocimiento previo de su exactitud posicional como respaldo a las conclusiones obtenidas.

Precisamente, esta última finalidad justifica y sostiene el propósito de la presente investigación, que tiene por objeto fundamental determinar la calidad y exactitud posicional en la cartografía urbana de la ciudad de Cádiz elaborada durante el siglo XVIII, período histórico de mayor esplendor y transformación de la ciudad, y que ha legado una de las mejores colecciones sobre cartografía urbana de la historia de nuestro país. La principal contribución será poner al servicio del conocimiento un dictamen técnico sobre su precisión métrica, de gran valor para cualquier estudio de carácter diacrónico

centrado en este período histórico de la ciudad y su territorio.

2. CALIDAD Y EXACTITUD POSICIONAL EN CARTOGRAFÍA HISTÓRICA.

Cualquier estudio relacionado con la cartografía no debe perder de vista que mapas y planos son fruto de una difícil combinación, sólo a veces proporcionada, entre ciencia y arte¹; metáfora visual del mundo real y cultural que simbolizan, en la que la 'seducción del ojo' a menudo rivaliza con la calidad de la información que se transmite y selecciona, según la finalidad y escala del documento. Instrumento práctico, fruto del desarrollo del conocimiento humano, un mapa, a diferencia de una fotografía, es una abstracción de la realidad y un objeto susceptible de interpretación dependiendo de la percepción cognitiva y semántica de su autor y del usuario. En palabras de Barber y Board (1993; en Livieratos y Koussoulakou 2006, p. 138): *'Y al igual que el arte, la cartografía revela los fragmentos de la realidad a través de una sarta de mentiras'*.

Según la profesora Lanius (Podobnikar 2009, p. 50) los mapas presentan una realidad transformada en puntos, líneas y áreas, haciendo uso de una variedad heterogénea de recursos visuales: tamaño, forma, valor, textura, color, orientación y forma.

La notable mejora en las condiciones de acceso a los fondos cartográficos experimentada en las

últimas décadas (Jobst, Gartner y Döllner 2009, p. 739), ha recobrado un interés creciente por el estudio de mapas y planos históricos. Estos singulares documentos, de gran valor, ofrecen la posibilidad de acceder a información relevante e inédita sobre el pasado, no sólo a historiadores, sino también a investigadores de múltiples disciplinas afines (Geografía, Geología, Hidrología, Medioambiente, Transporte, Urbanismo, etc...) que precisan de información diacrónica en sus estudios. El auge de las nuevas tecnologías y la revolución digital ha reportado también importantes avances en el ámbito de la evaluación de la calidad geométrica de mapas y planos históricos, permitiendo mejorar y renovar los elementales métodos que desde finales del siglo XIX se venían aplicando.

Dentro del contexto de la cartografía histórica la proporcionalidad entre ciencia y arte, en relación a la técnica de ejecución, resulta cuanto menos ambigua, jugando el factor tiempo en favor de la inspiración. Es en la Edad Moderna, período caracterizado por valores propios como la razón y el progreso, cuando esta relación dual cobra mayor significado y equilibrio. En el siglo XVII, la conjunción del poder del Estado y el afán por el dominio mundial se combinaron con los avances en la ciencia y las artes, constituyendo este período un claro exponente de la armónica dualidad entre la herramienta científica y el objeto cultural que representaba un mapa. No obstante, el estudio de los métodos y técnicas utilizadas en la cartografía

histórica resulta, aún hoy, una disciplina incipiente y generalista que demanda de grandes esfuerzos en investigación.

El estudio de la cartografía histórica, según Tobler (1966, p. 351), puede ser abordado desde diferentes puntos de vista y con diversos propósitos. El control de la calidad posicional constituye uno de los posibles enfoques y viene determinado por la exactitud² posicional con la que la información geográfica es representada en un documento cartográfico. Conviene aclarar que 'calidad' y 'exactitud' posicional no son términos equivalentes, pues el primero, a diferencia del segundo, evalúa el grado en el que el producto cartográfico se adecúa o satisface el uso para el que fue concebido. Tampoco los términos 'exactitud' e 'incertidumbre' posicional deben considerarse equivalentes³, aunque con frecuencia se utilizan, incorrectamente, como sinónimos en la literatura.

La exactitud posicional constituye una cualidad esencial y característica de cualquier documento cartográfico, pero no sólo resulta determinable en el aspecto geométrico, también lo es en el topológico y en el temático de un modelo de realidad (Ariza-López y Atkinson-Gordo 2006, p. 3). A pesar de ello, la exactitud posicional se identifica habitualmente en la literatura especializada con el enfoque geométrico, perspectiva predominante⁴ entre las investigaciones desarrolladas hasta la fecha. No obstante, también resulta posible encontrar estudios

² En el contexto de la cartografía histórica se utilizan las locuciones 'exactitud' y 'precisión' indistintamente como sinónimos. Véanse las reflexiones sobre su significado en (Blakemore y Harley 1976). No obstante, en el ámbito de la metrología adquieren significados diferentes.

³ Para más información, véanse las reflexiones de (Tucci y Giordano 2011, p. 452-453).

⁴ Por esta razón, en la presente investigación, cuando se haga mención exclusivamente al término 'exactitud posicional', debe interpretarse bajo el punto de vista geométrico y con el siguiente significado: *'la diferencia entre la posición registrada por un elemento en una base de datos espacial o en un mapa y su actual posición sobre el terreno o en una fuente conocida de mayor exactitud'* (Tucci y Giordano 2011, p. 453).

⁵ Durante los siglos XVI y XVII las técnicas cartográficas desarrolladas no permiten una representación rigurosa del relieve, recurriendo a las llamadas 'vistas de pájaro' para la representación del territorio. En estas vistas, el relieve se representa mediante símbolos emulando una representación en perspectiva según su apariencia natural [Figs. 1-1 y 1-2].

⁶ Aunque el Sistema de Planos Acotados se desarrolló a principios del siglo XVIII, los antecedentes de la representación orográfica de un terreno mediante curvas de nivel proceden del ámbito de las batimétricas hidrográficas (Wolter 1972, p. 187; Morato-Moreno 2016, p. 67) y sus representaciones mediante isóbatas (curvas que unen puntos de igual profundidad). Otros autores (Gentil-Baldrich 1998, p. 8) postulan sus orígenes en el Renacimiento, en los mapas de Leonardo Da Vinci (1452-1519). Al margen de la posible controversia, la representación de isóbatas más antigua procede de un mapa manuscrito de 1584, del topógrafo holandés Pieter Bruinss. Aunque el primer uso extensivo de la batimetría para la representación con carácter científico de perfiles del lecho marino, se atribuye a Louis Ferdinand Marsilli (Marsilli 1725), miembro de la Real Academia de Ciencias de París. Otro precedente lo encontramos en 1730 en la representación batimétrica del lecho del estuario de Merdewe, en la confluencia de los ríos Mosa y Vaal, realizada por otro holandés, Nicolaus Samuelis Cruquiuis, en respuesta a las necesidades planteadas en la construcción de unas obras hidráulicas (Altemir-Grasa 2004, p. 2). Para más información sobre los orígenes en la cartografía de la representación altimétrica, véanse (Thrower 1969; de Dainville 1970; Robinson 1971).

sobre exactitud posicional que abordan paralelamente varios de estos planteamientos. Podobnikar (2009, p. 57) además de la exactitud posicional geométrica, evaluó la precisión temática de una serie de mapas históricos. Concluyó que se pueden estudiar diversos elementos de los mapas históricos con el fin de determinar y controlar la calidad de los mismos. Blakemore y Harley (1980) abordaron ampliamente varios aspectos relacionados con la calidad de la información histórica y geográfica ofrecida por un mapa histórico, incluyendo, entre otros, un enfoque cronológico, topográfico y cartométrico. Respecto a este último planteamiento, el análisis de la exactitud posicional de los mapas históricos se encuentra dividido en la literatura, generalmente, en planimetría y altura. No obstante, hasta la fecha, los principales trabajos de investigación se han centrado en la exactitud de la posición planimétrica (Nell 2009, p. 2), entre otras razones, porque las representaciones altimétricas⁵ de carácter no simbólico en cartografía histórica, con carácter general, tienen lugar a partir de finales del siglo XVIII⁶ (Wolter 1972, p. 188; Morato-Moreno 2016, p. 67) [Figs. 1-3 y 1-4]. Por otro lado, la posibilidad de que un producto cartográfico sea meramente planimétrico o altimétrico, así como el comportamiento diferencial en cuanto a la incertidumbre presente en las componentes altimétricas y planimétricas, justifican la evaluación de ambas por separado (Ariza-López y Atkinson-Gordo 2006, p. 13).



1-1: Hispalensis conventus delineatio (Amberes, 1579). Grabado coloreado 35 x 46 cm. Autor: Jerónimo de Chaves. Fuente: Biblioteca Nacional de España (Madrid).

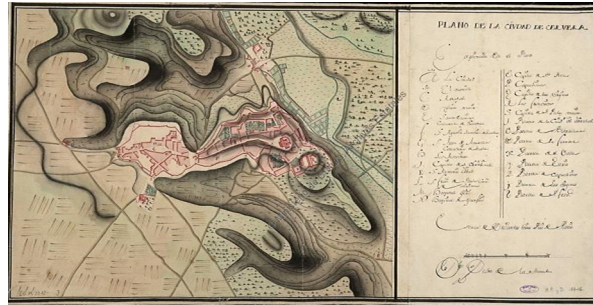


1-2: Descripción dela val de Aran (1594). Grabado coloreado 35 x 46 cm. Autor: Tiburzio Spannocchi. Fuente: Archivo General Simancas. (Valladolid).

CONSIDERACIONES PREVIAS

Otro tratamiento diferencial de la exactitud posicional proviene de su evaluación en términos absolutos o relativos⁷. En cartografía histórica de pequeña y mediana escala (cartografía territorial) la mayoría de estudios se basan en el control de la exactitud absoluta asumiendo que, en la cartografía tradicional por las limitaciones técnicas del momento, ésta resulta siempre peor que la exactitud relativa (Ariza-López y Atkinson-Gordo 2006, p. 24). En estos casos, el análisis llevado a cabo trata de comprobar cómo encaja un determinado mapa en su marco geodésico de referencia posicional. No obstante, en la cartografía histórica de gran escala (cartografía urbana, fundamentalmente) el posicionamiento absoluto queda relegado prácticamente al olvido, al menos hasta bien entrado el siglo XIX, cobrando mayor relevancia en estos casos la evaluación de la exactitud relativa.

Por otro lado, en la evaluación de la exactitud posicional los estudios desarrollados sobre cartografía territorial son mayoritarios frente a los de naturaleza urbana. Estos últimos, en un muestreo⁸ realizado sobre la literatura especializada publicada en los últimos 65 años, apenas suponen un 6,2%. Esta circunstancia tiene que ver con la propia evolución de la producción cartográfica y las necesidades del conocimiento humano, ambos ligados al devenir de la historia de las civilizaciones.



1-3: Plano de la ciudad de Cervera (Lérida, 1724).
Autor: Pedro de la Moneda.
Fuente: Archivo General Simancas. (Valladolid).

⁷ Para más información, véase (Moreno-Vergara y Cortés-José 2011).

⁸ El muestreo ha sido realizado por el autor sobre un total de 257 trabajos relacionados con la cartografía histórica y su exactitud, publicados entre los años 1950 y 2015 en los principales medios internacionales de difusión en materia de cartografía y geografía, fundamentalmente congresos y revistas científicas. Tan sólo 31 de estos trabajos centran su estudio en cartografía histórica urbana, pero 15 de ellos no aplican ninguna metodología para evaluar la exactitud posicional.



1-4: Plano General de la bahía gaditana (1743). Autor: Joseph Barnola.
Fuente: Museo Naval de Madrid.

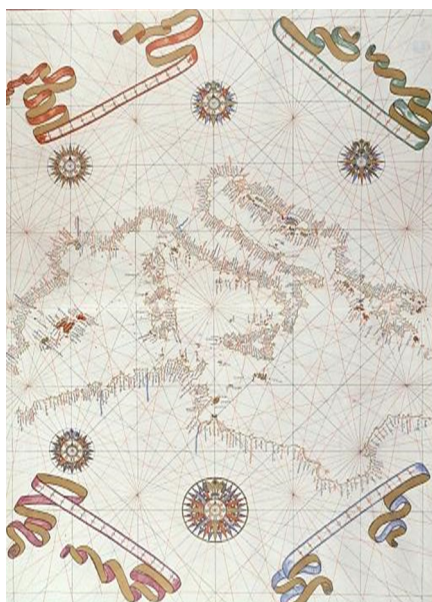
⁹ Para más información sobre la representación urbana en el Renacimiento y en la etapa medieval previa a él, véase (Arévalo-Rodríguez 2003).

¹⁰ Uno de los escasos y más antiguos testimonios conservados sobre dibujos urbanos es una representación intuitiva de la ciudad de Jerusalén [Fig. 1-6], reproducción de uno de los primeros mapas de las cruzadas en Tierra Santa incluida en un manuscrito sobre pergamino de mediados del siglo XII, que abstrae la planta de la ciudad representando la muralla e iglesias por sus alzados abatidos (García-Ortega y Gámiz-Gordo 2010, p. 29). Un segundo ejemplo, es la visión figurada sobre la ciudad de Roma [Fig. 1-7] que con forma de planta elíptica representó Paulino Venetus, en su obra 'Chronologia Magna' (1328-43), y que también pudo haber realizado una planta de Venecia del siglo XIV (Arévalo-Rodríguez 2003, p. 27), de la que sólo se ha conservado una reproducción realizada en 1780.

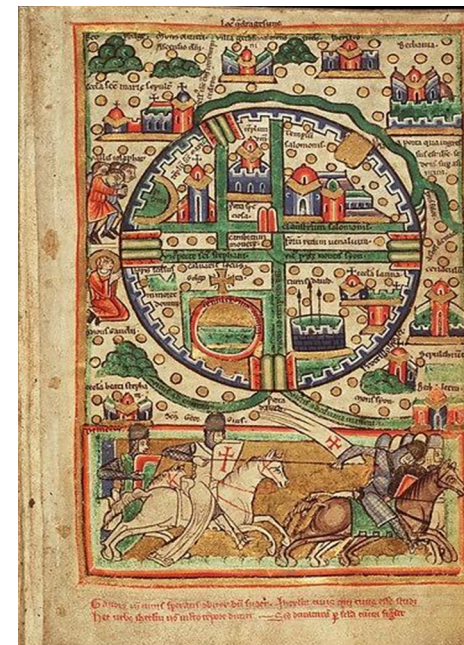
3. LA REPRESENTACIÓN URBANA Y LA INGENIERÍA MILITAR EN LA EDAD MODERNA

El Renacimiento como punto de partida en la representación urbana

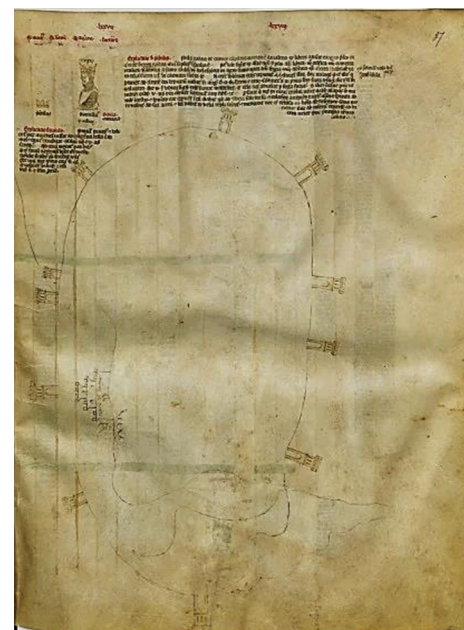
Pese a que la utilización de los mapas es previa al uso de la palabra escrita (Corpas-Latorre y Olmedo-Granados 2009, p. 7), antes del siglo XV los documentos cartográficos constituyen objetos raros al servicio de las instituciones, sólo en manos de los monarcas o de sus estados mayores. Previamente al Renacimiento⁹, los escasos vestigios cartográficos conservados se limitan a la representación de grandes coberturas territoriales y a cartas para la navegación costera o interterritorial, generalizadas desde el siglo XIV a través de los portulanos [Fig. 1-5]. El simbolismo y la falta de verosimilitud constituyen los rasgos distintivos de los dibujos medievales, período caracterizado por la carestía de mapas gráficos sobre espacios urbanos, tal cual entendemos hoy en día este concepto, más allá de unos pocos vestigios iconográficos¹⁰ y planos circulares (de 'T' en 'O') [Fig. 1-8] con motivos alegóricos y religiosos sobre algunas ciudades, fundamentalmente la ciudad santa de Jerusalén (Arévalo-Rodríguez 2003, p. 27-31).



1-5: Carta Portulana (1587). Autor: Joan Martines. Fuente: Biblioteca Nacional de España (Madrid).



1-6: Imagen esquemática de Jerusalén (centro) rodeada por imágenes pequeñas de otras ciudades, fechada en el siglo XII. Se retrata como una ciudad circular, amurallada. Manuscrito. Original 31,3 x 21,0 cm. Autor: Anónimo. Fuente: Real Biblioteca de Bélgica (Bruselas).



1-7: Representación de la ciudad de Roma. Contorno de la ciudad trazado con línea elíptica y representación en miniatura de torre o puertas de la ciudad. Original 44 x 29 cm. Autor: Paulino Venetus (1328-1343, p. f.27). Fuente: Biblioteca nacional de Francia (París).

CONSIDERACIONES PREVIAS

La verdadera producción de mapas acontece en el Renacimiento (Herva y Ylimaunu 2010, p. 87) y su divulgación, con ayuda de la imprenta, desencadenó una auténtica 'revolución iconográfica' (Corpas-Latorre y Olmedo-Granados 2009, p. 24), pasando el número de mapas en circulación de algunas decenas a finales del siglo XV a millones en el siglo XVI. Los avances científicos en el Renacimiento precisaron continuamente de la imagen. Ésta permitía adquirir y transmitir el nuevo conocimiento. Sólo la imagen podía mostrar una realidad sobre la que el Rey y su Consejo de Guerra debían decidir (Cámara-Muñoz 1991, p. 24-26). No obstante, los primeros dibujos urbanos se diferenciaron por su carácter simbólico y desde el punto de vista técnico eran expresiones torpemente realizadas, frecuentemente sin escalas ni orientación, rellenando progresivamente el hueco de un perímetro predibujado (Cortés-José, García-Jaén y Zoido-Naranjo 1992, p. 8; Muñoz-Cosme 2016, p. 32). Las primeras vistas urbanas se caracterizaron por su carácter figurado y la falta de concordancia entre la realidad y el elemento dibujado [Fig. 1-9].

En el siglo XVI, durante el reinado de Felipe II, la pintura y la corografía se consagran al servicio de la Corona con el objetivo principal de difundir la grandeza y el poder de la monarquía de los Austrias (Cuesta-Aguilar y Moya-García 2012). En este marco, fruto del esplendor adquirido por el género corográfico, las vistas panorámicas de ciudades cobran pleno protagonismo durante el Siglo de Oro.



1-8: Plano de 'T' en 'O' sobre la ciudad de Jerusalén, realizado entre los años 1100 y 1150, incluido en el manuscrito titulado *Gesta Francorum Iherusalem expugnantium*, f. 50v. Representa la idea de la Ciudad Santa como centro del mundo, organizada en torno al cardo y al decumanus. Autor: Anónimo. Fuente: Bibliothèque d'agglomération de Saint-Omer (Francia).



1-9: Vista urbana de la ciudad de Sevilla (1598).
Autor: Joris Höefnagel.
Fuente: *Civitates Orbis Terrarum*, Vol. V.

Son recursos concebidos con una finalidad pedagógica y propagandística, destinadas a un aprovechamiento comercial (Capdevila-Subirana 2012, p. 6). Constituyen la técnica más habitual para representar la imagen de una ciudad (Cámara-Muñoz 1991, p. 28), permitiendo conocer su fisonomía, estado y desarrollo.

Las vistas panorámicas más que una perspectiva geométrica representan el perfil urbano de una ciudad utilizando simultáneamente uno o varios puntos de vistas elevados, que pueden ser reales o

¹¹ Conservadas en su mayor parte en la Biblioteca Nacional de Viena y en el *Victoria Albert Museum de Londres*.

¹² De Georg Braun (1541-1622), canónigo de la catedral de Colonia. Es el primer atlas dedicado íntegramente a ciudades del mundo, con cerca de 546 vistas urbanas. De ellas, 43 vistas corresponden a ciudades españolas, de las que 32 son andaluzas. Estuvo precedida por la obra *Theatrum orbis terrarum* (1570) de Abraham Ortelius, considerado el primer atlas de la historia de la era moderna.

¹³ El texto original estaba integrado por once códices, de los que no se conserva íntegro ninguno de ellos. Sobre este tratado y su autor consúltense (Vagnetti 1972; Alonso-Rodríguez 1996; Arévalo-Rodríguez 2003).

ficticios dependiendo de la orografía del extrarradio. En ocasiones, se recurren a puntos de vistas aéreos de difícil imaginación (Ruiz Nieto-Guerrero 1999, p. 34). La manipulación de la perspectiva natural era una operación frecuente en esta técnica de representación, que perseguía mejorar el grado de comprensión del dibujo aún en detrimento de su fidelidad (García-Ortega y Gámiz-Gordo 2010, p. 30). Lo que interesa se representa con nitidez y lo que no interesa se desdibuja. A partir de la segunda mitad del s. XVI el rigor de los datos gráficos responde a un claro interés por la verosimilitud (Gámiz-Gordo 2011, p. 75-76). Buen ejemplo de todo ello son las 62 vistas¹¹ de las principales ciudades de la península que el monarca Felipe II encargó a su pintor de cámara Anton van den Wyngaerde (Kagan 1986), realizadas entre los años 1562-70 [Fig. 1-10]. Otro ejemplo, lo encontramos en las vistas de ciudades realizadas en este mismo siglo por el pintor flamenco Joris Höefnagel [Fig. 1-11], cuyos dibujos sobre ciudades, reelaborados por Franz Hogenberg junto a los de otros autores, ilustraron la colosal obra *'Civitates Orbis Terrarum'*¹² (1572), con cerca de 546 vistas de urbes de todo el mundo. Höefnagel viajó por España, con un encargo similar al de Wyngaerde por parte de Felipe II, realizando vistas de ciudades desde 1563 a 1567. También encontramos abundantes vistas aéreas de ciudades en otras obras como la *'Cosmographia'* (1544) de Sebastián Münster o la *'Crónica de Nuremberg'* (1493) de Hartman Schedel.

En cuanto a los métodos topográficos aplicados al levantamiento urbano, indispensables para la obtención de medidas, tuvieron gran calado durante el Renacimiento los métodos indirectos, aquellos que deducen la medida de un elemento por visualización, ante la dificultad de su determinación directa. Estos métodos están basados en la obtención de magnitudes (alturas y anchuras) a partir de observaciones realizadas por medio de triangulaciones ópticas y cálculos fundamentados en la aplicación de principios geométricos (proporcionalidad y semejanza de triángulos de Tales y Euclides). Algunos tratadistas de la época, como el arquitecto y matemático italiano Leon Battista Alberti (1404-1472), desarrollaron la teoría de los mecanismos y métodos necesarios para poder abordar el dibujo en planta de una ciudad aplicando estas nociones, en su obra *'Ludi Mathematici'*¹³, cuya producción se sitúa en torno al año 1451. Alberti adaptó a la topografía y al levantamiento urbano los fundamentos de la triangulación geodésica y la Astronomía. Otro tratado posterior sobre triangulación óptica fue el *'Trattati di architettura civile e militare'* de Francesco de Giorgio Martini (1481). Ambos tienen en común la no utilización de la brújula en los métodos de levantamiento, aspecto éste distintivo de otros métodos aplicados con posterioridad (Arévalo-Rodríguez 2003, p. 79-87). Precisamente, a Leon Battista Alberti se debe un sistema de representación ideado para el levantamiento de la

CONSIDERACIONES PREVIAS

ciudad de Roma, dado a conocer en una obra del autor de menor relevancia *'Descriptio Urbis Romae'*¹⁴. Al margen de la controversia¹⁵ sobre la datación de la citada obra con anterioridad o posterioridad al tratado *'Ludi Mathematici'*, la principal aportación que realizó en ella Alberti fue aplicar el método de levantamiento por radiación¹⁶, consistente en tomar desde dos o más puntos, cuya distancia entre sí resultaba conocida, el ángulo del elemento que se pretendía representar. Con posterioridad, se determinaba, bien de forma directa sobre el terreno o indirecta mediante triangulación óptica, la distancia hasta cada punto, que era trazada a escala sobre el plano (Arévalo-Rodríguez 2003, p. 111-115).

El modelo militar de intervención urbana

A partir del Renacimiento diversas ciudades europeas (Marsella, Niza, Amsterdam, Venecia, Génova, Barcelona, Cádiz...), fundamentalmente asociadas al comercio portuario con las principales rutas marítimas por el Mediterráneo y el Atlántico, inician un período de floreciente crecimiento y desarrollo urbano. Este último, como fruto de la presión demográfica auspiciada por el apogeo económico. El auge mercantil de estas urbes, propiciado por el descubrimiento de América y la implantación de nuevas rutas, las convierte en auténticos oligopolios comerciales y en atrayentes blancos para el asedio enemigo. A consecuencia, la actividad comercial generadora del crecimiento de

las ciudades queda vitalmente vinculada a la estrategia militar, supeditando a ella su salvaguardia. Ciudades francesas como Brest y Lorient o españolas como Barcelona y Cádiz son claros exponentes de este modelo de urbe.

¹⁴ Para más información, consúltese (Alberti 2000).

¹⁵ Consúltese (Arévalo-Rodríguez 2003, p. 110).

¹⁶ Según Arévalo-Rodríguez (2003, p. 115), Alberti no habría sido el primero en plantear un levantamiento con este sistema, aunque sí uno de los precursores en aplicarlo a la realización del plano de una ciudad.



1-10: Vista de Jerez de la Frontera, Cádiz (1567).
Autor: Antón van den Wyngaerde.
Fuente: Biblioteca Nacional de Viena (Austria).



1-11: Vista de Jerez de la Frontera, Cádiz (1575).
Autor: Joris Höefnagel.
Fuente: Civitates Orbis Terrarum, Vol. II.

¹⁷ Para más información, véase (Guidoni y Marino 1982, p. 505 y sig.).

¹⁸ Para más información, véanse (Calderón-Quijano 1987; Chías-Navarro y Abad-Balboa 2011).

¹⁹ Giovanni Battista Calvi (Juan Bautista Calvi), Giovan Giacomo Paleari Fratino (Jacobo Fratin), Vespasiano Gonzaga Colonna, Tiburzio Spannocchi (Ingeniero Mayor de Felipe II), Leonardo Torriani (Leonardo Turriano) o Giovanni Battista Antonelli (Juan Bautista Antonelli), fueron destacados ingenieros italianos al servicio de la monarquía española durante la segunda mitad del siglo XVI.

²⁰ Es aceptado de forma general que la transición española entre el sistema de fortificación medieval y el sistema abaluartado, se produjo a remolque de lo ocurrido en Italia, donde se ensayaron las soluciones más importantes. Sin embargo, otros autores consideran que el verdadero perfeccionamiento del sistema defensivo se produjo en Castilla y Aragón, principalmente. La mayor profusión de dibujos de fortificaciones italianas, frente a la carencia de dibujos de fortificaciones españolas, podría encontrarse en el trasfondo de esta cuestión (Carrillo de Albornoz y Galbeño 2012, p. 34-35).

²¹ Como la Real Academia de Matemáticas de Madrid, fundada por Felipe II en el año 1582, cuya dirección ostentó Joao Baptista Lavanha y cuyo plan de estudios fue diseñado por el arquitecto Juan de Herrera. También el Colegio Imperial, fundado en 1625 por la Compañía de Jesús, que se convierte en el centro de referencia para los estudios superiores de Arquitectura e Ingeniería en la España del siglo XVII (Altemir-Grasa 2004, p. 1).

En este contexto, la figura de los ingenieros militares juega un trascendental papel a partir del siglo XVI. La intervención del Estado en las obras de fortificación de estas plazas trasciende el ámbito meramente defensivo y erige a los ingenieros en auténticos artífices de la intervención urbanística en las ciudades (Ruiz Nieto-Guerrero 1999, p. 25-26). Su vinculación con los órganos institucionales responsables de las decisiones sobre el diseño del entramado urbano y su participación directa en los proyectos de ampliación de las urbes, les convierten en verdaderos protagonistas de una incipiente actividad urbanista, que vinculará íntimamente hasta principios del siglo XIX a los ingenieros militares con el desarrollo urbano de la ciudad. Fruto de la estrategia militar, los primeros modelos¹⁷ de organización del espacio urbano, reproducidos también en las ciudades coloniales¹⁸ de naturaleza portuaria al otro lado del Atlántico, permitieron sentar las bases para el definitivo desarrollo de la cartografía urbana durante la Edad Moderna (Smail 2000, p. 37-38).

Influjo italiano en la representación de la ciudad

Durante la segunda mitad del siglo XVI numerosos ingenieros militares¹⁹, en su mayor parte italianos, trabajaron al servicio de la Corona española. En la postrimería de su reinado el Emperador Carlos V encomendó a Juan Bautista Calvi, ingeniero militar italiano, la fortificación de

todos los puntos vulnerables de la península. Éste introdujo en nuestro territorio las innovaciones²⁰ en las artes militares de su país, implantando el nuevo sistema defensivo de los frentes abaluartados por vez primera en Cádiz, en el año 1554 (Fernández-Cano 1973, p. 5; Ruiz Nieto-Guerrero 1999, p. 41).

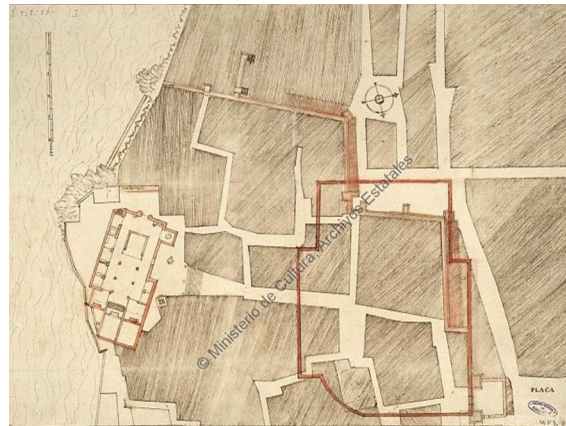
La formación científica de estos ingenieros, basada ante todo en la geometría, dotó de funcionalidad y pragmatismo al arte de la representación del espacio. El dominio del dibujo bajo unos planteamientos científicos era imprescindible para el ejercicio de la profesión. Así se recogía en los tratados de fortificación de la época que además del dominio de la pintura exigían la capacidad para hacer e interpretar modelos de fortificaciones (Cámara-Muñoz 1991, p. 24-25). En el s. XVI aparecen también los primeros centros²¹ de enseñanza técnica que contribuyen a difundir la teoría y práctica del Dibujo mediante el estudio de estos tratados.

El s. XVI conocerá una revolución en el desarrollo y proliferación de los instrumentos de medida y en los sistemas de levantamiento (Arévalo-Rodríguez 2003, p. 88-117). La adopción de inventos y avances concebidos para el arte de la navegación, la artillería y la balística, conllevaron un importante progreso respecto a los siglos precedentes, constituyendo la incorporación de la brújula, cuyo uso ya quedó constatado en la '*Carta de León X*' (1515), uno de los logros más destacados en el ámbito topográfico.

Este auge quedará reflejado en la producción tratadística de este siglo, prácticamente inabarcable (Arévalo-Rodríguez 2003, p. 88). La mayoría de este cuerpo teórico continúa formulando sistemas de levantamientos basados en determinaciones indirectas, si bien cada uno aporta sus propias particularidades. En las inmediaciones de la primera mitad del siglo XVI, hay noticias del levantamiento de dos planos de Florencia²², con fines militares, ejecutados mediante radiación y triangulación óptica, con ayuda de una brújula (Arévalo-Rodríguez 2003, p. 119-121).

Durante la segunda mitad del s. XVI se puso en práctica una nueva técnica de levantamiento urbano por polígonos²³, como complemento del método de radiación, basada en la determinación de la orientación y forma de las manzanas que conforman la trama urbana. Este procedimiento, conocido también como 'método de rodeo', calculaba con ayuda de un planisferio o regla dotada de brújula²⁴ [Fig. 1-13] la orientación de las fachadas de una manzana. Colocado el instrumento sobre la pared que se pretende medir, permitía determinar la orientación de la misma respecto al Norte magnético. Posteriormente, la longitud de cada fachada se determina directamente sobre cada paramento. Se trata pues, de un sistema de levantamiento basado en la determinación directa de magnitudes sobre los elementos que se pretenden dibujar. Una vez conocida la orientación y dimensión de todas las manzanas que integraban el

parcelario de una ciudad, éstas eran encajadas en el interior de una red triangular definida sobre el entramado urbano, cuyos vértices se hacían coincidir con puntos relevantes de la ciudad (como torres de edificios religiosos, intersecciones de viarios, encuentros de lienzos de murallas y otros puntos singulares de la trama de la ciudad), levantados todos ellos mediante radiación.



1-12: Plano de parte de la Ciudad de Cádiz para la construcción de la nueva catedral (1595). Autor: Anónimo.
Fuente: Archivo General Simancas. (Valladolid).

Otro método de levantamiento muy utilizado en este período es el conocido como método de coordenadas, también denominado de abscisas y ordenadas. Según Arévalo-Rodríguez (2003, p. 177) es un método auxiliar que se empleaba con asiduidad como complemento de los anteriores. Consiste en medir la distancia mínima (abscisa) entre un punto o elemento que se quiere levantar y

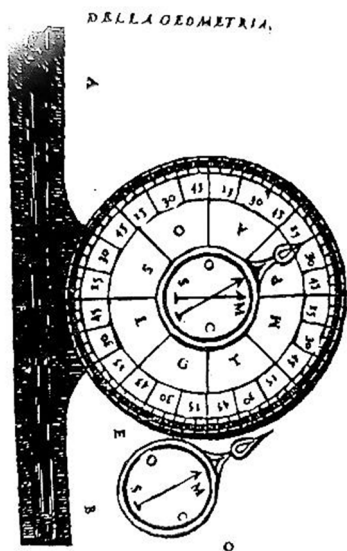
²² El primero de ellos, realizado por Nicolo Tribolo en 1530. El segundo, realizado en 1564 por Cosimo Bartoli. (Arévalo-Rodríguez 2003, p. 119-121).

²³ Para más información sobre este método de levantamiento consúltese (Breed 1974, p. 162 y ss.). El método del levantamiento por polígonos fue introducido en España de mano de los ingenieros militares italianos reclutados durante el s. XVI (Arévalo-Rodríguez 2003, p. 148-150). Así lo recoge Cristóbal de Rojas, en alusión al método de levantamiento empleado por el ingeniero militar Tiburzio Spannocchi (ingeniero mayor de Felipe II). Según Arévalo-Rodríguez (2003, p. 164-165), es probable que este método fuera utilizado en un plano de 1595 conservado en el Archivo General de Simancas, en el que se representa una propuesta inicial para el emplazamiento de la Catedral Nueva de Cádiz [Fig. 1-12].

²⁴ Referido también por el ingeniero militar Cristóbal de Rojas como instrumento destinado al levantamiento en planta de ciudades: '*consiste en un planisferio móvil con una brújula incorporada, el cual dispone de una regla recta tangente a la circunferencia destinada a apoyar el instrumento sobre una pared*' (Arévalo-Rodríguez 2003, p. 137).

²⁵ También durante el s. XVII y la primera mitad del XVIII, predominaría la representación de la ciudad mediante vistas urbanas, en todas sus modalidades: al natural, a vista de pájaro, militar o cónica (Arévalo-Rodríguez 2003, p. 148 y 181-217).

²⁶ Eso le ocurrió, por ejemplo, a Tiburzio Spannocchi que se formó en sus inicios con un pintor de Siena aprendiendo, entre otras cuestiones, el manejo del pincel y los colores (Cámara-Muñoz 1991, p. 25).



1-13: Instrumento de levantamiento basado en la brújula (1563). Autor: Pietro Cataneo. Fuente: (Arévalo Rodríguez 2003, p. 136).

una línea recta de referencia trazada entre dos puntos cuya posición está bien determinada sobre el terreno. Conjuntamente a la aplicación de estos métodos de levantamiento, era frecuente el uso de procedimientos para la obtención de superficies, bien directamente sobre el terreno, bien sobre un plano. El método de descomposición de superficies en polígonos (triángulos y rectángulos) descrito por Cristóbal de Rojas en el capítulo VIII de su obra '*Teoría y práctica de fortificación*' (1598); o el método de reducción a triángulos de una superficie, uniendo todos sus vértices perimetrales con un punto común en su interior, son tan sólo algunos ejemplos sobre las técnicas de levantamiento aplicadas por los ingenieros militares italianos, que testimonian el alcance científico de su formación.

Así pues, a finales del s. XVI las bases teóricas necesarias para realizar el levantamiento planimétrico de cualquier ciudad estaban sentadas y habían sido llevadas a la práctica con notable éxito. Sin embargo, la perspectiva continuó siendo el sistema más usual para representar la ciudad en este siglo²⁵. Según Arévalo-Rodríguez (2003, p. 148), no es de extrañar que los métodos de levantamiento desarrollados por los arquitectos renacentistas desaparecieran de los libros y tratados de arquitectura a partir del s. XVII. Ello respondería, en palabras de este autor, a la entrada en escena de una nueva figura profesional responsable de levantar los planos de las ciudades: los ingenieros militares.

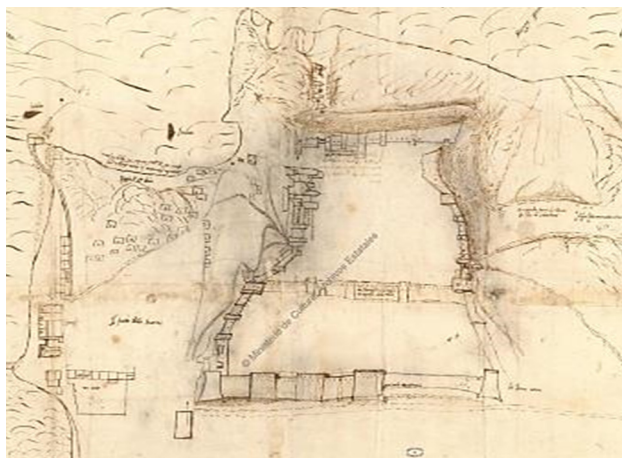
A pesar del dominio del dibujo bajo unos planteamientos científicos, la influencia de la corriente artística del Renacimiento estaba aún muy presente en la ingeniería militar italiana²⁶ del siglo XVI. La expresividad y alcance de la perspectiva en la representación de las ciudades resultaba incuestionable y tuvo gran repercusión en la formación y técnica desarrollada por estos ingenieros.

La búsqueda de una traza que combinara expresividad y rigor geométrico dio lugar durante el s. XVI a una singular práctica de representación, sin recorrido más allá de este siglo y que pronto cayó en desuso. Consistía en delinear una planta del perímetro de la ciudad abatiendo sobre éste los alzados de los principales edificios y elementos defensivos con el fin de conservar en lo dibujado cierta percepción de la realidad [Figs. 1-14 y 1-15].

Desde la segunda mitad del s. XVI y hasta finales del siglo XVII, la búsqueda de este ideal caracterizará las representaciones urbanas de naturaleza militar por un intento de conciliación entre las vistas oblicuas y cenitales, explorando un armonioso equilibrio entre composiciones en perspectiva y de base geométrica. Surgen así distintas modalidades de trazado urbano que coexisten paralelamente durante este período y que podríamos agrupar bajo la denominación común de '*planos esquemáticos*'. La representación mediante vistas artísticas va dejando paso a una incipiente

CONSIDERACIONES PREVIAS

técnica de dibujo en perspectiva, aún sin normalizar, empírica y precursora de una axonometría que busca mantener intacta la información geométrica de los edificios y del perímetro urbano a la vez que persigue mejorar la percepción y el realismo del plano [Figs. 1-16 y 1-17].



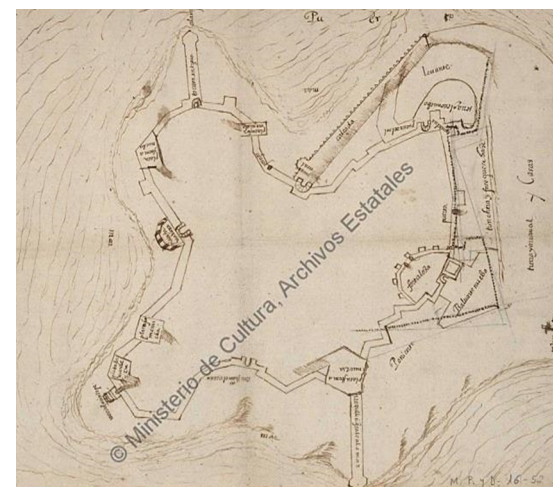
1-14: Il ritratto grande della fortezza de Eviza (Islas Pitusas, 1555).
Autor: Giovan Battista Calvi.
Fuente: Archivo General Simancas. (Valladolid).

A lo largo del s. XVII la técnica irá evolucionando con nuevas tendencias hacia una representación cada vez más normalizada, aunque la elección del modo de representación atiende más a intereses políticos y culturales que científicos²⁷. Aumentará el detalle y número de edificios representados [Fig. 1-18], recurriendo a una mayor utilización de las reglas geométricas y las escalas (Muñoz-Cosme 2016, p. 32). La orientación de los planos al Norte y la representación de una escala o pitipié, se convierte en una práctica cada vez más habitual. Las escalas

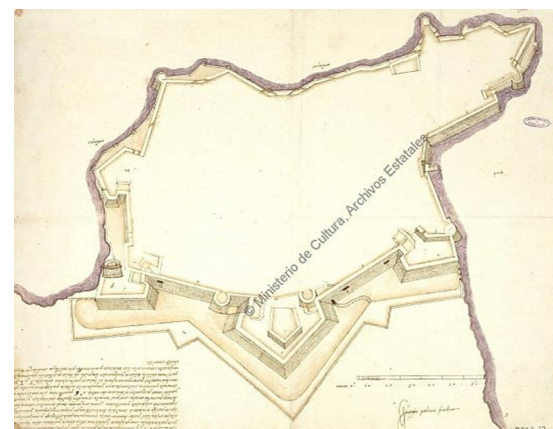
quedan referidas a una gran diversidad de unidades de medida basadas, por lo general, en un orden antropomórfico (dedos, pulgadas, palmos, codos, pies, etc...) cuya equivalencia era variable por regiones e incluso ciudades. En España, el uso de las escalas durante la Edad Moderna fue aún más complejo debido a la llegada de ingenieros foráneos, que solían utilizar en sus trabajos las unidades aplicadas en su país de origen. Las necesarias conversiones entre escalas no resultaban sencillas y condujo, con frecuencia, a confusiones y errores. Felipe II protagonizó un primer intento de unificar y normalizar el uso de las escalas, refiriéndolas a la vara castellana, única magnitud de medida válida según una ley promulgada en 1568. Sin embargo, la inexistencia de un cuerpo estable de ingenieros hizo fracasar durante los s. XVI y XVII cualquier intento de normalización de escalas en nuestro país (Arévalo-Rodríguez 2003, p. 151). Tampoco durante el s. XVIII, tras la configuración del Real Cuerpo de Ingenieros Militares, las diversas ordenanzas militares promulgadas (1718 y 1757) lograron, en la práctica, implantar un criterio único respecto al uso de las escalas y las unidades de medida en las representaciones cartográficas.

La evolución de la técnica de representación condujo, en unos casos, a dibujar en perspectiva ciertos tramos del contorno y los edificios más relevantes del parcelario [Figs. 1-19 y 1-20], que suelen coincidir con aquellos vinculados a intereses defensivos y religiosos. El resto del espacio urbano

²⁷ Véase al respecto las interesantes reflexiones de la profesora Naddeo (2004) sobre la representación urbana de Nápoles durante el s. XVII y XVIII.



1-15: Modelo del sitio de la Villa de Bayona (Galicia, 1595) y lo que va haciendo en su fortificación. Autor: Giorgio Paleari Fratino.
Fuente: Archivo General Simancas. (Valladolid).



1-16: Plano de la Fortificación de Alghero (Cerdeña, 1578). Autor: Giorgio Paleari Fratino.
Fuente: Archivo General Simancas. (Valladolid).



1-17: Planta de la ciudad de Cádiz (1609). Autor: Anónimo.
Fuente: Archivo General Simancas. (Valladolid).

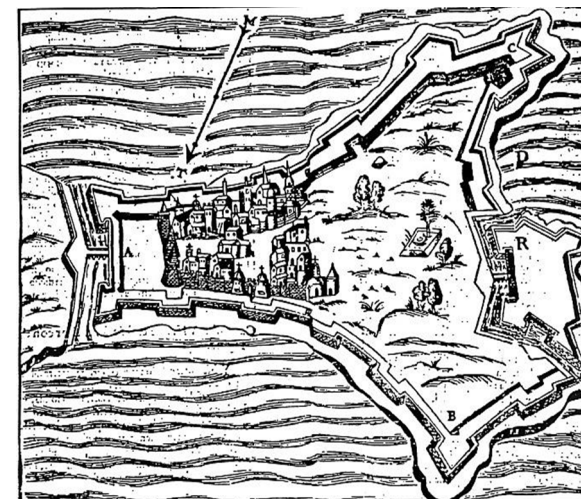
se traza sin contenido, vacío [Fig. 1-21]. Esta técnica de representación fue muy utilizada por los ingenieros al servicio de Felipe II, siendo probablemente influenciada por algunos tratadistas italianos del siglo XVI, como Francesco De Marchi o Giambattista Bonadio de'Zanchi (Cámara-Muñoz 1991, p. 27). Las plazas fuertes, las fortificaciones o los conflictos bélicos serán los escenarios habitualmente representados.



1-19: Prospectiva de Maçarquivir (1574). Autor: Juan Bautista Antonelli.
Fuente: Archivo General Simancas. (Valladolid).



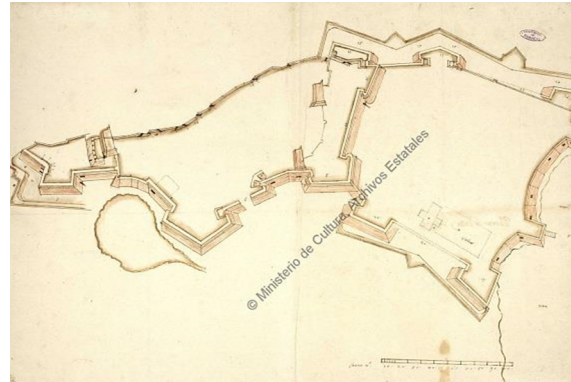
1-18: Planta de la ciudad de Cádiz (1645). Autor: Anónimo.
Fuente: Biblioteca nacional de Francia (Paris).



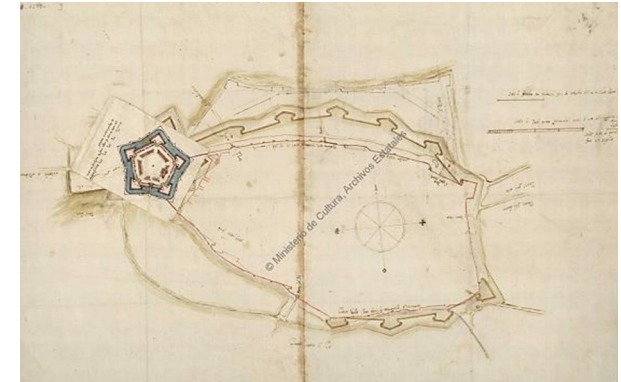
1-20: Traza de la fortificación propuesta para Cádiz (1598). Autor: Cristóbal de Rojas.
Fuente: (De Rojas 1598, p. 49).

CONSIDERACIONES PREVIAS

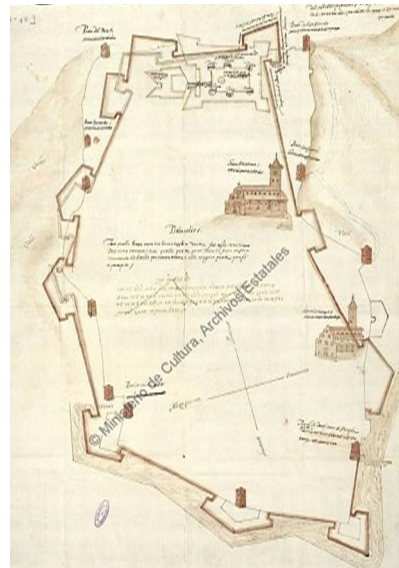
Otras veces, es sólo el recinto perimetral de la ciudad fortificada el que se representa en planta, buscando el rigor geométrico de la traza defensiva [Figs. 1-22 y 1-23]. Con menor frecuencia sucede a la inversa, siendo el perímetro defensivo el que se muestra en perspectiva mientras que las manzanas del parcelario se dibujan en proyección cenital [Figs. 1-24 y 1-25]. Esta última tipología corresponde a una evolución más tardía de la técnica, constatada en la segunda mitad del siglo XVII. Comienza entonces a cobrar sentido el levantamiento de una planimetría ortogonal, que aunque torpe y defectuosa en sus inicios, va poco a poco otorgando relevancia a la representación interior de la trama urbana y dotándola de cierto rigor [Fig. 1-26]. La necesidad de contar con una documentación gráfica de mayor exactitud y detalle respecto a la forma de las calles, manzanas, espacios públicos y elementos defensivos, posibilitó una evolución de la técnica de representación urbana a finales del siglo XVII, caracterizada por una paulatina transición desde las perspectivas oblicuas hacia las vistas cenitales. Este progreso resultaría precursor del decisivo impulso que transformó la representación de las ciudades a principios del siglo XVIII, con el trazado de las plantas topográficas urbanas de origen militar.



1-21: Planta de fortificación de Cagliari (1578).
 Autor: Giorgio Paleari Fratino.
 Fuente: Archivo General Simancas. (Valladolid).



1-23: Designio de la ciudad y castillo de Cremona (¿1595?).
 Autor: Giorgio Paleari Fratino.
 Fuente: Archivo General Simancas. (Valladolid).



1-22: Planta del recinto fortificado de Pinerolo (Italia, 1572). Autor: Anónimo.
 Fuente: Archivo General Simancas. (Valladolid).



1-24: Planta de Cádiz (1650-55).
 Autor: Leonardo de Ferrari.
 Fuente: Atlas Heliche. Archivo Militar de Estocolmo (Suecia).

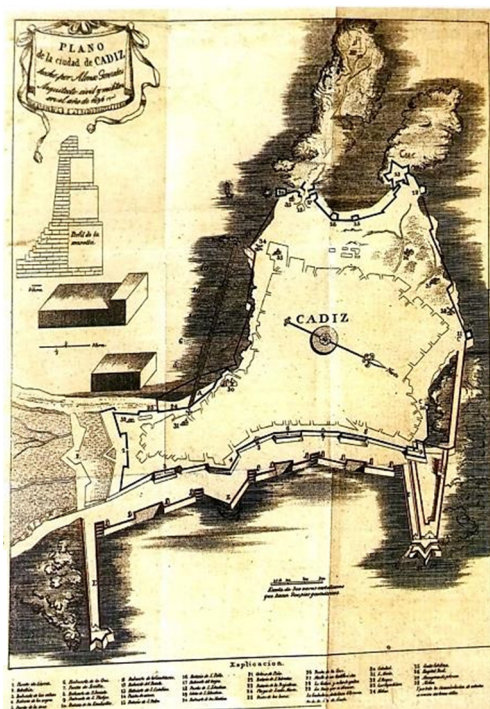
²⁸ La construcción de maquetas o modelos por parte de los ingenieros militares para la ilustración de sus proyectos de fortificación es una tradición que se remonta al siglo XVI en Europa (Martínez-Montiel 2002, p. 200; Granado-Castro 2012, p. 38; Muñoz-Cosme 2016, p. 32; Granado-Castro, Barrera-Vera y Aguilar-Camacho 2016a, p. 18-19). Así se desprende de las recomendaciones para su ejecución ofrecidas por Giovanni Battista Antonelli (1560, p. 10) en su tratado *'Epitomi delle fortificazioni moderne'*. Al respecto, Cámara-Muñoz (1991, p. 30) explica que Felipe II mostró preferencia por lo que entonces se denominaba 'modelo de bulto' de las fortificaciones, existiendo multitud de referencias sobre modelos fabricados en esta época (Cádiz, Gibraltar, Fuenterrabía...), aunque desgraciadamente no se hayan conservado.

²⁹ Para más información sobre las colecciones europeas de maquetas, véanse (Quirós-Linares 1994; Buisseret 1998; Viganó 2007; De la Torre-Echávarri 2014, p. 59-87).

³⁰ Para más información véanse (Granado-Castro 2012, p. 38-52; Granado-Castro, Barrera-Vera y Aguilar-Camacho 2016a, p. 16; Muñoz-Cosme 2016, p. 35).

³¹ Aunque fue un proyecto ambicioso, finalmente sólo se construyó la maqueta de la ciudad de Cádiz, concluida en 1779. Para más información véase (Granado-Castro, Barrera-Vera y Aguilar-Camacho 2016a).

Por otra parte, la construcción de maquetas o modelos se convierte también en una trascendente herramienta de representación urbana a finales del s. XVII²⁸, muy vinculada a los proyectos de fortificación de plazas relevantes. Durante el s. XVIII la fabricación de modelos llega a trasgredir su primordial sentido de utilidad: la estrategia militar, convirtiendo estas colecciones²⁹ en un verdadero objeto de arte y poder³⁰. La colección *'plans-reliefs'* iniciada por Luis XIV en 1688 [Fig. 1-27] o el proyecto³¹ de bajorrelieves de plazas fuertes del Reino [Fig. 1-28], promovido en 1776 por Carlos III para rivalizar con la colección francesa, son claros ejemplos de ello.



1-25: Plano de la ciudad de Cádiz (1696).
Autor: Alonso Gonzales.
Fuente: Archivo Municipal de Cádiz,
Acta Capitular 31-X-1696, fol. 421.



1-26: The plane of the town of Cádiz (1685). Autor: Edmund Dummer.
Fuente: (Calderón-Quijano et al. 1978, Fig. 144)



1-27: Maqueta de la ciudadela de Brouage (Francia, s. XVII). Autor: Anónimo.
Fuente: Musée des Plans-reliefs (París).



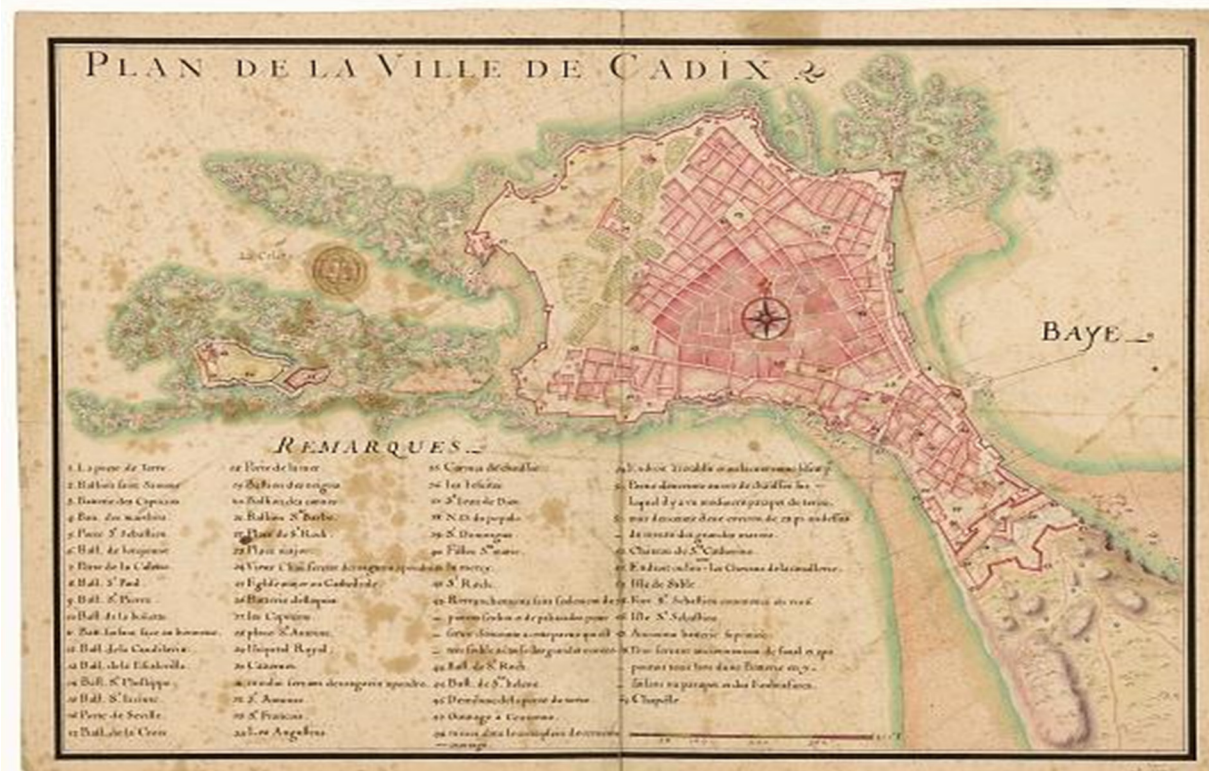
1-28: Bajorrelieve de Cádiz (1777-1779).
Autor: Alfonso Ximénez.
Fuente: Museo de las Cortes. (Cádiz).

El plano urbano topográfico y la ingeniería militar francesa

El rigor científico y geométrico, propiciado por el movimiento ilustrado, deja paso desde principios del s. XVIII a un nuevo tipo de representación castrense de la ciudad: el plano urbano topográfico [Fig. 1-29]. En él se plasmarán las grandes transformaciones físicas y sociales de la metrópoli moderna, en la que acontece la revolución industrial, dando respuesta a los nuevos planteamientos administrativos y defensivos demandados por las urbes.

Esta corriente técnica de representación surge a finales del siglo XVII y, al igual que las anteriores, tiene claras influencias militares, en este caso de origen francés³², cuyo cuerpo de ingenieros, fundado en 1691, pronto se especializó en la producción de cartografía militar, propia y ajena, como una estrategia previa para la planificación de las contiendas bélicas.

³² Francia fue el primer país que procedió a la normalización de las reglas de dibujo y la simbología en la representación cartográfica militar. Desde que Sébastien Le Prestre, señor y marqués de Vauban, fuera nombrado oficialmente en 1678 comisario general de fortificaciones, puso en marcha un proyecto para simplificar y estandarizar los métodos de trabajo de los ingenieros militares. Vauban estableció en 1680 unas normas gráficas para lograr la representación uniforme a diferentes escalas de los territorios militares del Reino y, en particular, de sus plazas fuertes. Muchas de estas reglas e instrucciones de dibujo para los ingenieros vieron la luz en el año 1714, tras su muerte, en el tratado titulado: 'Instruction pour les ingénieurs et dessineurs qui levent les Plans des Places du Roy ou des Cartes'. Durante el siglo XVIII el manual 'Les règles du dessin et du lavi', publicado por el ingeniero Nicolas Buchotte (1722), fue el principal referente de normalización utilizado por los ingenieros militares franceses (Warmoes 2016, p. 55-57; D'Orgeix 2016, p. 317,321). Las influencias de la ingeniería militar francesa no se limitarían a la península, extendiéndose también por otros países europeos como Gran Bretaña, cuyo cuerpo de ingenieros militares fue creado en 1716 siguiendo el modelo francés (Fleet 2007, p. 330).



1-29: Plan de la ville de Cadix (≈ 1707).
 Autor: Anónimo.
 Fuente: Biblioteca nacional de Francia. (París).

³³ La necesidad de un conocimiento real de las posesiones españolas, la unificación del sistema fiscal, las reforma administrativa territorial y las comunicaciones, hicieron preciso un desarrollo de la cartografía (Capel-Sáez et al. 1983, p. 7).

³⁴ Durante todo el siglo XVII los ingenieros continuaban con la misma estructura que tenían con Felipe II, estando íntimamente relacionados con los artilleros y con la infantería, sin constituir un verdadero cuerpo independiente. Su formación y preparación no eran las más adecuadas (Martínez-Montiel 2002, p. 198; Galcerán-Vila 2013, p. 212). El Cuerpo de Ingenieros Militares constituye, de hecho, la primera institución organizada de técnicos en la España del Estado moderno (Capel-Sáez et al. 1983, p. 6).

³⁵ Aprobado por Real Decreto de Felipe V, el 17 de abril de 1711. Estuvo constituido permanentemente por 150 integrantes en España y unos 50 en América y los territorios de ultramar. A lo largo del siglo XVIII formaron parte de él más de un millar de miembros (Capel-Sáez et al. 1983, p. 6).

³⁶ La Academia Militar de Bruselas, fundada por la Corona española en 1675, fue el centro de formación de referencia de la ingeniería militar hispánica de finales del siglo XVII y se utilizó de modelo para la creación de los centros de formación militares en la España del siglo XVIII (Pita-González 2012, p. 414).

En España, esta labor de levantamiento cartográfico fue adscrita también a las instituciones militares³³. La implicación de los ingenieros fue trascendental para dinamizar los procesos de desarrollo y perfeccionamiento de los métodos y técnicas de representación cartográfica. Durante este siglo (Prieto-Barrios 2016, p. 1) fue perfilándose una estructura organizativa de la ingeniería, con el objetivo de disponer de técnicos y profesionales al servicio del arte de la guerra y la modernización del propio Estado, que no logró cristalizar del todo. A su llegada al trono de España, en noviembre de 1700, Felipe de Anjou, nieto de Luis XIV, se encuentra con un ejército mal organizado³⁴. El estallido de la guerra de Sucesión puso en evidencia la falta de recursos de la ingeniería militar española. Constatada su escasez e incapacidad, Felipe V a instancias del marqués de Bedmar, Secretario de Guerra, hizo venir en 1709 a ingenieros militares de Francia y Flandes, entre los que se encontraba Jorge Próspero de Verboom [Fig. 1-30], militar de origen flamenco, nombrado en 1710 Ingeniero General de los Reales Ejércitos castellanos. La contratación de ingenieros extranjeros constituyó una solución inicial. Poco después, con Verboom al frente del proyecto, quedaba organizado el Cuerpo de Ingenieros Militares³⁵ y los centros asociados a su formación específica. Verboom había sido alumno de Sebastián Fernández de Medrano, director de la Academia Militar de Bruselas³⁶. Fueron alumnos suyos los que constituyeron el núcleo inicial

del Cuerpo (Capel-Sáez et al. 1983, p. 7). La solidez del modelo francés y su '*Corps du génie*', demostrada durante el transcurso de la Guerra de Sucesión, sirvió de referente al Estado español en la creación de su propio cuerpo (Muñoz-Corbalán 2016, p. 95), aún bajo la influencia del ideal italiano.



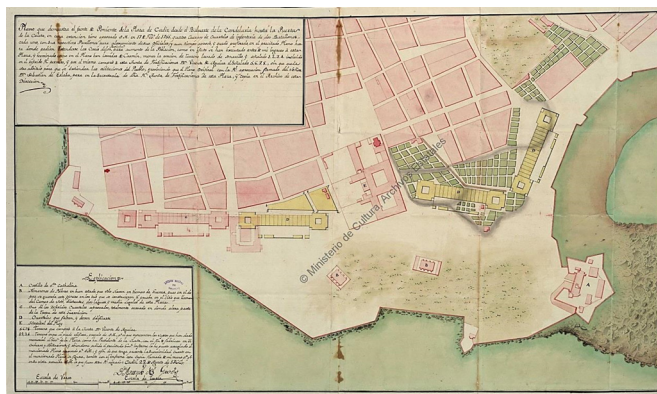
1-30: Teniente e Ingeniero General Jorge Próspero de Verboom (1667-1744). Autor: Anónimo. Fuente: (Real Biblioteca. Patrimonio Nacional 2014).

Durante el siglo XVIII estos técnicos se hicieron cargo de todo tipo de proyectos y obras de carácter civil y militar. Los planos de ciudades y fortificaciones del siglo XVIII son el resultado de la aplicación de una técnica depurada en los dos siglos anteriores y responden a una representación topográfica precisa y detallada. La aprehensión y reflejo gráfico de la complejidad urbana son rápidamente difundidos por los ingenieros militares a través de la cartografía, que cuenta con el referente de la ingeniería militar francesa y sus proyectos de ciudades portuarias. A lo largo del siglo XVIII alcanzó una gran perfección, estableciéndose un sistema universal reglado³⁷, con códigos y normas plenamente establecidas para la representación. Los planos están coloreados para distinguir la topografía con significado militar, empleando el color rojo para construcciones y edificios, amarillo para las nuevas obras proyectadas, azul para el agua, diferentes tonalidades de verde para distinguir terrenos pantanosos, jardines delimitados y tierras de cultivo, y laderas con pendientes sombreadas para indicar un terreno más alto. Estos colores son un reflejo de un incipiente consenso en la cartografía militar europea, que tras su adopción posterior por las instituciones militares cartográficas, han llegado a convertirse en familiares a los ojos modernos (Fleet 2007, p. 337).

Estas plantas urbanas se caracterizaron por constituir una verdadera cartografía topográfica, no

escatimando detalles respecto a la forma de calles, manzanas, elementos de fortificación y dotaciones de espacios públicos [Fig. 1-31]. A ello contribuyó el simultáneo desarrollo de las técnicas cartográficas y el conocimiento científico en este ámbito, inculcado en las distintas academias³⁸ en las que se formaban los ingenieros militares. La aritmética, la geometría, la trigonometría y la topografía fueron algunas de las materias impartidas por estos centros.

El plano urbano topográfico de finales del siglo XVIII, momento en el que los cambios propiciados por la revolución industrial en la artillería dejaron obsoletos los sistemas de fortificación abaluartados, se encuadra cronológicamente como un paso previo a la definitiva transformación experimentada por la representación cartográfica urbana a finales del siglo XIX, surgida de manos de una nueva corriente teórica de organizar la ciudad, denominada Urbanismo.



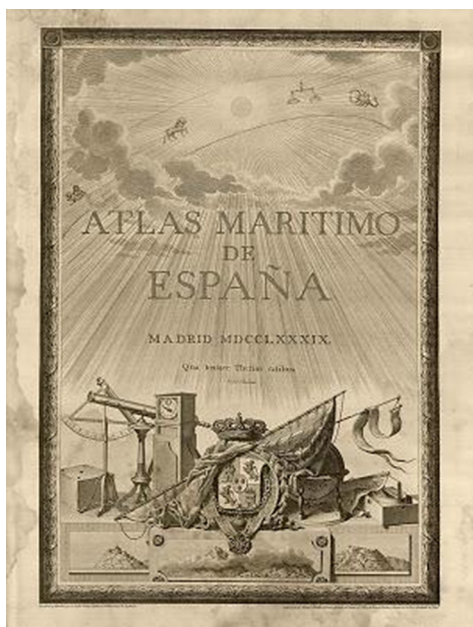
³⁷ La primera instrucción impulsora de este espíritu de normalización es la *Ordenanza de 1718*. El texto establece las reglas que deben observar los ingenieros desde la proyección de las pertinentes obras de fortificación hasta su ejecución material sobre el terreno. Las instrucciones cartográficas subyacentes están primordialmente vinculadas a la representación del territorio y de los elementos integrados en él. Las instrucciones establecidas se respetarán en las sucesivas revisiones de la ordenanza, publicadas en 1768 y 1803. También la *Ordenanza para la enseñanza de las Matemáticas de 1739*, contemplaba cuestiones relativas a la regulación de la formación en materia de cartografía en el plan de estudios de la Real Academia de Matemáticas de Barcelona (Muñoz-Corbalán 2016, p. 92-94). Asimismo, la *Ordenanza de 31 de enero de 1757*, promulgada por el Conde de Aranda, reguló el uso de escalas normalizadas atendiendo a la finalidad del plano (González-Tascón 1992, p. 82 Vol. I).

³⁸ Se instituyeron Academias de Matemáticas cuya función esencial era garantizar la sólida formación científica de los nuevos ingenieros. Las de Barcelona, Orán y Ceuta constituyeron los centros esenciales a lo largo del siglo XVIII, siendo sustituidas a finales del mismo por las de Zamora y Alcalá de Henares (Capel-Sáez et al. 1983, p. 7).

1-31: Planta parcial de Cádiz. Construcciones militares (1766). Autor: Antonio de Gaver. Fuente: Biblioteca nacional de Francia. (París).

³⁹ Para más información, véase (Olmedo-Granados 2013).

⁴⁰ Para más información, véase (Corpas-Latorre y Olmedo-Granados 2009, p. 56).



1-32: Atlas Marítimo de España (1789).
Autor: Vicente Tofiño de San Miguel.
Fuente: Fondo Antiguo Universidad de Sevilla.

4. EL CASO DE ESTUDIO: CÁDIZ

El enclave territorial de la bahía gaditana y su entorno

A lo largo de la historia, Cádiz y su singular enclave territorial han sido objetos de una intensa producción cartográfica³⁹, con un abundante repertorio de mapas, cartas y planos de origen nacional y extranjero. Su particular fisonomía y estratégica posición, pronto focalizó la atención de la cartografía antigua. Los relatos geográficos de la época, fruto de los numerosos viajes y expediciones que hasta ella arribaron, así lo corroboran. Su contorno quedó insinuado en la cartografía árabe medieval, siguió presente en las representaciones portulanas de la Baja Edad Media y fue perfilado con las incipientes perspectivas urbanas de la Edad Moderna, como la precursora vista del año 1513 [Fig. 1-40, véase en p. 31].

La creciente proyección de la ciudad desde comienzos de la Edad Moderna, a raíz del descubrimiento de América y su estratégica posición como bisagra comercial entre las rutas del Mediterráneo y el Atlántico, tuvo un inmediato reflejo en la cartografía del momento, que se tradujo en una rápida proliferación de nuevas imágenes sobre la bahía y su entorno geográfico. La bahía gaditana, convertida en la principal base naval española y círculo científico impulsor de la cartografía ilustrada de España a través de instituciones como la Academia de Guardias Marinas y el Real

Observatorio, será desde entonces un importante foco de producción cartográfica, que se prolongará hasta las inmediaciones del siglo XX (Corpas-Latorre y Olmedo-Granados 2009, p. 58). Las aguas y costas de Cádiz serán objeto de repetidos levantamientos topográficos de creciente exactitud y detalle a través de numerosas cartas náuticas. En este contexto, se hace justo destacar la magnífica labor cartográfica desarrollada por el militar y cosmógrafo español Vicente Tofiño de San Miguel y Wanderiales (1732-95), natural de Cádiz y figura insigne de la ilustración española. Profesor (1755) y director (1768) de la Academia de Guardias Marinas de la ciudad, su colección de cartas esféricas sobre las costas de España y África, publicadas a finales del siglo XVIII, han gozado de gran reconocimiento internacional por su calidad científica⁴⁰. Su obra más destacada fue: '*El Atlas Marítimo de España*', publicado en 1789 [Fig. 1-32].

El desarrollo de la ciudad durante la Edad Moderna

La organización del Cuerpo de Ingenieros Militares en el siglo XVIII coincidió con la localización en Cádiz de la cabecera en la ruta comercial con las Indias, a raíz del traslado definitivo desde Sevilla, en 1717, de dos grandes instituciones: la Casa de Contratación y el Consulado. La influencia de la ciudad en la actividad y formación de los ingenieros militares es notoria durante este siglo. Su configuración territorial, en una pequeña península,

convierte el arte y la técnica de fortificar en un verdadero desafío para los ingenieros militares que en ella trabajan. Punto de referencia esencial para la formación de los egresados de las academias de matemáticas que habrían de pasar a las Américas, donde aguardaba un destino en las fortificaciones del litoral costero.

Ya desde principios de la Edad Moderna, la ciudad se había convertido en un referente para el aprendizaje práctico de las técnicas de construcción sobre agua. Las obras para su fortificación (Fernández-Cano 1973, p. 2-23) se iniciaron antes de los ataques ingleses de 1587 y 1596, de manos del comendador Diego López de Aguilera⁴¹ (1530), que configuró la traza de una cerca y un torreón para la defensa del desembarco en Puerto Chico. La apertura de la ciudad al comercio indiano cernió sobre ella la amenaza de las incursiones berberiscas (1520-1566), encabezadas por el corsario Khairaddin Barbarroja y apoyadas por el sultán turco Solimán. En 1534, el ingeniero militar Benedetto da Ravenna realizó un reconocimiento de las defensas de la plaza, a instancias del emperador Carlos V, considerándolas insuficientes. En 1554, Giovanni Battista Calvi implantó el sistema italiano abaluartado en la ciudad. Se construyeron los baluartes de Santa María, Santiago, Santa Cruz y San Felipe, siendo este último el primero en concluirse, en 1560. En 1558, Calvi abandona Cádiz. Las obras de fortificación de la ciudad prosiguieron bajo la dirección de otros ingenieros de origen

italiano, entre los que se encuentran Giacomo Paleari Fratino (Jacobino Fratin)⁴², Vespasiano Gonzaga⁴³ y Tiburzio Spannocchi⁴⁴. Durante estos años se desencadena la guerra con Inglaterra (1585), tras el apoyo inglés a los Países Bajos en el conflicto de Flandes. En 1587, se produce una primera incursión inglesa sobre la ciudad, comandada por el corsario Francis Drake, que terminó con la destrucción de gran parte de la Armada Española anclada en la bahía de Cádiz. En 1596, los tercios españoles se disponían a invadir las islas británicas desde la ciudad francesa de Calais. Isabel I de Inglaterra, ante la amenaza de invasión, ordenó atacar la nueva flota española fondeada, una vez más, en Cádiz. El asalto se produjo el 30 de junio, comandado por el conde de Essex, dejando malparada la ciudad que fue incendiada y arrasada y poniendo en evidencia las defensas construidas hasta la fecha. Tras el mismo, Felipe II llegó a plantearse el abandono de la ciudad en su actual emplazamiento y su reconstrucción en las inmediaciones del Puerto de Santa María⁴⁵.

El ataque de 1596 supuso un claro punto de inflexión en el devenir histórico de la Cádiz, elevada a la categoría de presidio militar. Tan sólo unos días después, el Consejo de Guerra envía a la ciudad a Cristóbal de Rojas, ingeniero militar y tratadista de fortificaciones⁴⁶, para evaluar el estado de la misma. Al informe de Cristóbal de Rojas se unen los de Pedro de Velasco⁴⁷, Fernando de Añasco⁴⁸ y el obispo de la ciudad Antonio Zapata. Finalmente,

⁴¹ Padre del duque de Arcos y capitán general de artillería en Andalucía.

⁴² Ingeniero y capitán ordinario de infantería. Estuvo en Cádiz en 1574 y regresó en 1580 donde permaneció trabajando hasta su muerte en 1587. Realizó una nueva traza defensiva de la ciudad sirviéndose de la propuesta de Calvi (Fernández-Cano 1973, p. 17,23).

⁴³ Virrey y capitán general de Navarra. Llegó a Cádiz en febrero de 1575 y permaneció dos años en la ciudad. Introdujo algunas novedades en los proyectos defensivos de Fratin y Calvi. A su partida, le sucedería el ingeniero Luis Bravo de Laguna, quien propuso cercar con una muralla el frente de poniente y de la bahía (Fernández-Cano 1973, p. 20-22).

⁴⁴ Caballero del hábito de Santiago y de la Orden de Malta. Desde 1601 fue nombrado ingeniero mayor de Su Majestad y superintendente de las fortificaciones del Reino (Cámara-Muñoz 1988, p. 82). En 1587 fue enviado por Felipe II a Cádiz. Propuso la construcción de una ciudadela como alternativa al proyecto de recinto amurallado de la ciudad y la necesidad de defender la bahía con los fuertes de Santa Catalina del Puerto y del Puntal (Fernández-Cano 1973, p. 17,23).

⁴⁵ Para más información, consúltense (de Abreu 1866; Usherwood y Usherwood 2001).

⁴⁶ Cristóbal de Rojas y el ingeniero Ignacio Sala constituyeron la pareja de técnicos más relevantes de la poliorcética gaditana en la Edad Moderna, según Calderón Quijano en (Fernández-Cano 1973, p. XXXV prólogo). Para más información sobre Cristóbal de Rojas, consúltense (De Rojas 1598) y (Mariátegui 1985).

⁴⁷ Capitán del ejército y del Consejo de Guerra.

⁴⁸ Corregidor de la ciudad.

⁴⁹ El freno al crecimiento de la ciudad está controlado por el Cabildo secular que debe velar por el cumplimiento de los límites de expansión previstos dentro del espacio urbano, a fin de no interferir en los trabajos de fortificación y defensa de la Plaza (Ruiz Nieto-Guerrero 1999, p. 50). Estos trabajos quedarán bajo la supervisión de la llamada Junta de Murallas a partir del año 1687, que también gestionará su financiación mediante la recaudación de arbitrios. A partir del 14 de julio de 1693, se transformará en la Junta de Reales Obras de Cádiz y, durante el siglo XVIII, en la Real Junta de Fortificaciones de la ciudad (Muñoz-Corbalán 1992, p. 352-357; Bustos-Rodríguez 2008, p. 425).

⁵⁰ Mediante *Real Cédula de 25 de octubre de 1775*, suscrita por Andrés de Prada, en San Lorenzo (Fernández-Cano 1973, p. 40; Ruiz Nieto-Guerrero 1999, p. 42).

Felipe II descartó el desmantelamiento de la ciudad, inclinándose por su reconstrucción. Ésta implicaba, además del restablecimiento del caserío, el refuerzo de las defensas existentes y la fortificación de los puntos estratégicos de la plaza, la bahía y el litoral.

Comienza así a principios del siglo XVII una nueva y larga etapa de intensa actividad urbanística y defensiva para la ciudad y su entorno. Ello, unido al florecimiento de la actividad comercial, dará lugar al crecimiento y modernización de la vieja trama medieval (Ruiz Nieto-Guerrero 1999, p. 41-51), que alcanzará su período de mayor esplendor durante el siglo XVIII con la práctica colmatación del espacio urbano intramuros. Se construirá un nuevo muelle en el frente de la bahía, que aglutinará toda la actividad comercial y en torno al cual se articulará el tejido urbano de la ciudad. Se abandonarán las trazas irregulares del antiguo arrabal de Santiago, en favor de nuevas tramas regulares que tomarán como eje principal la calle Ancha, el eje comercial más importante de la ciudad dieciochesca. Las huertas y los terrenos pertenecientes al Rey, ubicados al oeste de la ciudad, se irán transformando en nuevas manzanas edificadas con bloques de casas. Se habilitarán espacios públicos abiertos, como la plaza de San Antonio. Se pavimentan las calles y se dotarán de sistemas para la evacuación de las aguas y residuos. La prosperidad económica se verá acompañada por un aburguesamiento de la población y de un fuerte crecimiento demográfico: la población se multiplicará casi por cuatro, entre

principios y mediados del siglo XVII. Todo ello queda reflejado en el entramado parcelario, que se expande irrefrenablemente hacia el frente de poniente, desbordando todas las previsiones y regulaciones⁴⁹ urbanísticas.

En cuanto a la fortificación del espacio urbano, tras el ataque inglés de 1596 surgieron diversas soluciones para su defensa, entre las que se encuentran los proyectos de Cristóbal de Rojas, Pedro Velasco y Añasco y de Luis Fajardo, que fueron confrontados con la propuesta previa de Spannocchi. Todas las opciones contemplaban la defensa de puntos estratégicos de la ciudad, pero ninguna atendía la demanda de la vecindad que solicitaba el cercado completo de su perímetro (Ruiz Nieto-Guerrero 1999, p. 42). Finalmente, la decisión⁵⁰ adoptada por Felipe II aprobó la conclusión de los baluartes de Benavides y San Roque, iniciados en el frente de tierra por Fratin, y se reforzaron las defensas de la Caleta de Santa Catalina, con la construcción del fuerte y un frente con cuatro baluartes.

En lo referente al entorno de la ciudad, se levantarían en la bahía los fuertes de Matagorda y el Puntal, cuyas obras comenzaron en 1608 y que deberían controlar el acceso desde el mar. En cuanto a la línea de costa, durante el reinado de Felipe II se inició la edificación de las torres vigías 'Atalayas' que jalonaron, en número próximo a 40,

todo el litoral (Fernández-Cano 1973, p. 57,58,65-69).

En los sucesivos años el perímetro de la ciudad se fue amurallando progresivamente, aflorando en el mismo: baluartes, castillos y cortinas, que lograron transformarla en un auténtico fortín⁵¹. El grueso del amurallamiento de Cádiz se debe, fundamentalmente, a las obras realizadas durante el s. XVII (Bustos-Rodríguez 2008, p. 419).

Durante este siglo los principales esfuerzos por alcanzar este borde rígido de murallas se orientan principalmente a la Banda del Vendaval⁵² y al litoral de La Caleta⁵³. También se construyen algunos tramos de muralla en el frente de poniente⁵⁴ y un nuevo baluarte en la Candelaria (1672). Además se ampliaron las defensas del muro de Puerta Tierra, con la construcción de nuevos elementos poliorcéticos⁵⁵ [Fig. 1-33].

⁵¹ El fallido ataque anglo-holandés de 1625 mostró la efectividad de las defensas levantadas en Cádiz desde 1596 (Fernández-Cano 1973, p. 75). Al terminar el s. XVIII, Cádiz y su bahía eran consideradas por todos como una de las plazas fuertes más seguras de entre todas las existentes, sólo puesta a prueba por la armada inglesa en 1702 y 1797. Tal seguridad fue reconocida con el traslado en 1717 de la Casa de Contratación y Consulado desde Sevilla (Fernández-Cano 1973, p. 142).

⁵² La Banda del Vendaval, se identifica con todo el borde de litoral que recorre la actual Avenida Campo del Sur. Se ejecutan en él distintos tramos de muralla durante el siglo XVII entre el baluarte de San Roque, baluarte de Santa María, baluarte de San Lorenzo y Caleta de Puerto Chico. (Fernández-Cano 1973, p. 99-106).

⁵³ En 1625 la caleta de Santa Catalina quedaba cerrada por una muralla de 8 pies de grueso, desde el baluarte de los Mártires hasta el Castillo de Santa Catalina (Fernández-Cano 1973, p. 71).

⁵⁴ Desde el Castillo de Santa Catalina al bonete de San Agustín y desde el baluarte de San Felipe al de la Escalerilla.

⁵⁵ Tras el asalto inglés de 1596 se procedió, en años sucesivos, a la construcción de distintos elementos defensivos. Primero se edificó el revellín y el foso inicial para defender el vano de acceso a la ciudad y se concluyeron las obras de los dos baluartes contiguos: San Roque y Benavides (Santa Elena). Posteriormente, hacia 1625, se aumentó la profundidad del foso. Más adelante, a partir del año 1656, se proyectó la llamada 'obra coronada' delante de la muralla del Frente de Tierra, por iniciativa del conde de Molina (Fernández-Cano 1973, p. 121-122). Para más información consúltese (Granado-Castro, Barrera-Vera y Aguilar-Camacho 2016b).



1-33: Vista Aramburu (Cádiz, s. XVII).
Autor: Anónimo.
Fuente: Museo de las Cortes de Cádiz.

⁵⁶ En los tramos comprendidos entre el baluarte de la Escalerilla y el de la Candelaria; y desde éste hasta el baluarte del Bonete.

⁵⁷ En el tramo comprendido entre Puerto Chico y el baluarte de los Mártires, conocido como Campo del Sur.

⁵⁸ En la segunda mitad del s. XVII la población de la ciudad prácticamente se duplica, pasando de 23.000 a 41.000 habitantes (Ruiz Nieto-Guerrero 1999, p. 63).

⁵⁹ Esta situación contrasta con la crisis generalizada que vive el Reino en este mismo período, convirtiendo a Cádiz en un caso excepcional.

⁶⁰ Este dato duplica la actual densidad de población de Manhattan y es 1,11 veces superior a la densidad de población de la barriada 'La Florida', en L'Hospitalet de Llobregat (Barcelona), que con sus 43.000 hab./km² (430 hab./Ha) es el punto más poblado de España en el año 2016 (Aunión y Longás 2016).

A lo largo del siglo XVIII (Fernández-Cano 1973, p. 100-119, 141-149) se completará el perímetro amurallado de la ciudad por los frentes de poniente⁵⁶ y del Mar de Vendaval⁵⁷, en aquellos trechos de costa alta y escarpe natural en los que el verdadero estrago lo causaba el castigo del océano. Por ambos tramos discurría un muro sencillo, a modo de pretil, que impedía la caída de personas o animales al mar. Los viejos baluartes se perfeccionan y se construyen otros nuevos. Se remodelará la fortificación del frente de Tierra hasta alcanzar su fisonomía definitiva. Se amplía el muelle principal. La Puerta del Mar, que da acceso a la ciudad desde le frente de la bahía, se desdoblará en dos. Se construye el espigón para la prolongación del baluarte de San Felipe hacia la bahía, se levanta el fuerte de San Sebastián y su avanzada, se construyen cuarteles para la tropa, etc...

A la ingente cantidad de proyectos redactados por los ingenieros militares para adecuar la estructura de la ciudad a sus necesidades defensivas, se unen las actuaciones encaminadas a la reparación de los continuos destrozos en los lienzos de muralla a causa de los temporales. Mientras, en el interior del recinto, la actividad constructiva no cesa desde mediados del s. XVII, uniéndose a la presión demográfica⁵⁸ la avidez por invertir los pingües beneficios que provienen de la actividad comercial⁵⁹. Entre los años 1645 y 1709 el perímetro urbano consolidado se incrementa en 28 Has, más de un 50%, ocupadas en su mayor parte

por edificios residenciales y viarios, aunque también proliferan parroquias, plazas, teatros y cuarteles. El número de islas o manzanas pasa en este período de 92 a 201. A principios del s. XVIII la densidad media de población alcanza los 448 hab./Ha, según el padrón de vecindarios de 1709 (Ruiz Nieto-Guerrero 1999, p. 78-79), cifra llamativamente elevada⁶⁰.

Las innumerables propuestas redactadas por los ingenieros militares en relación a las actuaciones de fortificación y conservación del perímetro de la ciudad, los cuantiosos informes a la Corona sobre el estado de las mismas y el necesario control del rápido crecimiento urbano y de su interacción con los intereses defensivos, constituyeron un germen perfecto para una formidable producción cartográfica de plantas urbanas a cargo de los ingenieros militares, que desde finales del siglo XVII y, muy particularmente, durante el XVIII tuvieron que emplearse a fondo en Cádiz con esta labor.

El siglo XVIII: máximo esplendor en la producción cartográfica

La producción de cartografía urbana durante el s. XVIII se vería notablemente desarrollada a medida que se consolidaba el Cuerpo de Ingenieros, siendo Cádiz una urbe privilegiada en tales fuentes (Ruiz Nieto-Guerrero 1999, p. 80; Bustos-Rodríguez 2008, p. 415). Es durante el período ilustrado cuando la ciudad vive su época de máximo esplendor. La

CONSIDERACIONES PREVIAS

relevancia alcanzada por Cádiz, el concurso de los ingenieros militares y la mejora de su formación y las técnicas cartográficas, permiten afrontar una centuria rica en mapas y planos. Abundan por estas fechas las plantas manuscritas que ofrecen una visión parcial o general sobre la renovación urbana de Cádiz. La cartografía de carácter parcial, asociada a intervenciones en una zona concreta de la ciudad o a su perímetro amurallado, es con diferencia la más numerosa, aunque las de menor interés para la presente investigación. Serán las plantas topográficas manuscritas, que muestran la trama urbana completa de Cádiz, las que centrarán nuestra atención. Son planos que representan la ciudad y su territorio acorde con los nuevos ideales de la Ilustración, desde una perspectiva científica y topográfica. Durante el desarrollo de esta investigación se ha logrado identificar y localizar, en los principales archivos y repositorios cartográficos nacionales e internacionales, un total de 21 planos topográficos urbanos de Cádiz [Fig. 1-34]. A su pormenorizada descripción estará dedicado el capítulo IV de esta tesis.

1-34: Colección de 21 plantas urbanas completas de Cádiz, correspondientes al s. XVIII. Se muestran en proporción a su tamaño original, ordenadas cronológicamente de arriba a abajo y de izquierda a derecha.

Fuentes: Archivo General Militar de Madrid; Archivo del Centro Geográfico del Ejército; Bibliothèque nationale de France; Service Historique de la Défense de France; Biblioteca Nacional de España.



⁶¹ Durante el siglo XVIII, se promueven en Sevilla numerosas obras de edificios singulares y monumentales, como el palacio de San Telmo (1724-34), la Real Fábrica de Tabacos (1728-1758), la Real Fábrica de Salitre (1760), Real Fundación de Artillería (reformada en 1760), Casa de la Moneda (1790). También se proyectan ampliaciones de la zona portuaria, con la implantación de nuevos muelles (Cortés-José, García-Jaén y Zoido-Naranjo 1992, p. 21).

Se tratan en su mayor parte de planos manuscritos, correspondientes todos ellos al período ilustrado de la ciudad, que recopilan casi 100 años de urbanismo y arquitectura militar. Estos planos urbanos constituyen, además, documentos imprescindibles para el conocimiento morfológico de la ciudad del siglo XVIII, por la exhaustiva representación de manzanas, edificios, fortificaciones y proyectos de intervención que en ellas quedan plasmados. Es probable que existieran muchos más, pero por desgracia no se han conservado.

Aun así, este repertorio de plantas topográficas de Cádiz conforma por el número de ejemplares, su calidad plástica, el período abarcado y la riqueza de la información mostrada, un referente único de producción cartográfica urbana durante el siglo XVIII. Es difícil encontrar en este período otra ciudad con una producción similar, que conserve una colección de plantas topográficas comparable a la de Cádiz. Por buscar un referente próximo, Sevilla, a pesar de haber sido cabecera en el monopolio del comercio de la Carrera de Indias durante el siglo XVII y principios del XVIII, de haber promovido numerosas obras Reales⁶¹ durante este último siglo y de haber trasladado la Corte de España a las instalaciones de los Reales Alcázares, durante parte del reinado de Felipe V (1729-1733), no contó en ningún momento, ni por asomo, con una colección parecida. Del siglo XVIII, la ciudad de Sevilla sólo conserva dos planos completos de su trama urbana: el plano de 1771 de Francisco Manuel Coelho (conocido como el plano de Olavide) [Fig. 1-35] y el plano de 1788 de Tomás López de Vargas y Machuca [Fig. 1-36], que es una actualización del primero (Cortés-José, García-Jaén y Zoido-Naranjo 1992, p. 25). La intensa y singular producción cartográfica que vivió Cádiz durante el s. XVIII no se ha vuelto a repetir en otra ciudad española durante la Edad Moderna y tampoco en época reciente, al menos, en su entorno geográfico inmediato. Tal es así, que en Andalucía, dos siglos después (1986), sólo las capitales de provincia y unos 300 municipios más, contaban con algún



1-35: Plano topográfico de Sevilla (1771).
Autor: Francisco Manuel Coelho.
Fuente: Real Academia de la Historia. Biblioteca digital.

ejemplar de cartografía urbana actualizada (Cortés-José 1998, p. 42).



1-36: Plano topográfico de Sevilla (1788). Autor: Tomás López de Vargas y Machuca.
Fuente: Real Academia de la Historia. Biblioteca digital.

Asimismo, en relación a la producción cartográfica de Cádiz durante el siglo XVIII, no podemos pasar de largo sin hacer una breve mención al ambicioso proyecto cristalizado mediante lo que se dio a conocer, en este período, como el Catastro del Marqués de la Ensenada⁶² [Figs. 1-37 y 1-38], una importante fuente documental, gráfica y escrita, para la reconstrucción de la vida y el conocimiento sobre la ciudad⁶³ de mediados de siglo. Lamentablemente, de Cádiz sólo se conservan las denominadas 'respuestas generales', formadas por un cuestionario interrogatorio que constaba de 40 preguntas⁶⁴ de carácter general sobre el término territorial. Las llamadas 'respuestas particulares', que incluyen las declaraciones de bienes y rentas

presentadas por cada vecino, así como los denominados 'mapas o estados' asociados, se perdieron en el incendio que afectó a la delegación de Hacienda de Sevilla en el año 1906, junto a la documentación de esta ciudad y de Huelva.



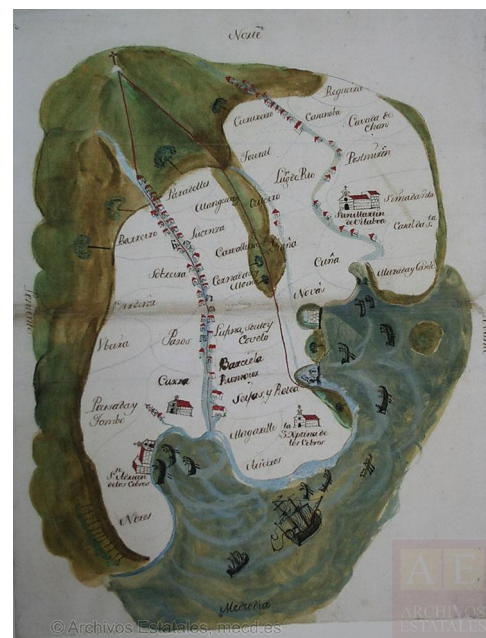
1-37: Retrato de Don Zenón de Somodevilla, marqués de la Ensenada (1750). Autor: Jacopo Amigoni.
Fuente: Museo del Prado (Madrid).

A ello, cabe añadir la producción cartográfica procedente de naciones extranjeras. Los continuos conflictos bélicos a los que se enfrenta España durante la Edad Moderna, así como los intereses, confrontados o compartidos, suscitados con las potencias aliadas u hostiles, transforman Cádiz en un enclave políticamente estratégico de máxima

⁶² El Catastro de Ensenada es una visión panorámica de todas las poblaciones del Reino, entre 1750 y 1754, que fueron sometidas por Real Decreto de Fernando VI, de 10 de octubre de 1749, a una encuesta exhaustiva. La finalidad del cuestionario era elaborar un inventario de bienes y contribuyentes, como paso previo a una reforma fiscal que pretendía implantar un solo impuesto, denominado la 'Única Contribución', y que finalmente no llegó a instaurarse.

⁶³ A este respecto, para más información, véase (García-Baquero González 1990).

⁶⁴ Puede consultarse el detalle de estas preguntas en (Usón-Finkenzeller, Calvo-Bóveda y Rodríguez-López 2016).



1-38: Mapa de las feligresías de San Martín de Vilaboa y Santa Cristina y San Adrián de Cobres (Pontevedra). Autor: Anónimo.
Fuente: Catastro de Ensenada, Portal PARES.

⁶⁵ Archivo del Cuerpo de Ingenieros Militares de Francia.

⁶⁶ Para más información, consúltense (Granado-Castro y Martín-Pastor 2016b, 2016a).

relevancia para los enemigos de la Corona, especialmente a partir del siglo XVIII, al canalizar por sus aguas buena parte de los recursos que sustentan las políticas del Estado (Bustos-Rodríguez 2008, p. 414). Holanda, Francia e Inglaterra pusieron en circulación durante estos años una importante producción cartográfica adicional. En este caso, con un preponderante carácter territorial que tuvo a la bahía y sus alrededores como principal foco y, en menor medida, la trama urbana de la ciudad. Algunas de las plantas urbanas de Cádiz ejecutadas en la primera década del s. XVIII, cuando aún no estaba constituido el Cuerpo de Ingenieros Militares y acontecía la Guerra de Sucesión al trono español, fueron levantadas por cartógrafos franceses. Desde el s. XVII hasta principios del s. XX, ninguna plaza fuerte extranjera fue ajena a los servicios de información e inteligencia del ramo de guerra francés, como atestiguan los fondos cartográficos del *'Archives du Génie'*⁶⁵ (Bonet-Correa 1991, p. xxi-xxii), cuyo cuerpo de ingenieros militares gozaba de gran prestigio en la elaboración de cartografía. Fueron estos ingenieros los que centraron su interés en conocer y plasmar la realidad de las defensas de la ciudad con motivo de la Guerra de Sucesión.

Un singular formato de producción cartográfica que acontece en Cádiz durante el siglo XVIII, tuvo lugar con la elaboración de un modelo o bajorrelieve de la ciudad. Realizado entre julio de 1777 y marzo de 1779 por el ingeniero Alfonso Ximénez, constituye

el primer y único ejemplar de maquetas urbanas que se construyeron al amparo del ambicioso proyecto promovido por Carlos III, que perseguía la creación de una colección de modelos de plazas fuertes del Reino, en línea con las que ya poseían otras cortes europeas, como la francesa de Luis XIV, y que tanto sirvió de inspiración al proyecto español. Tras la finalización del bajorrelieve de Cádiz [Fig. 1-39], estaba prevista la construcción de un segundo modelo sobre la plaza de Ceuta, que también había sido encomendado a Ximénez, pero diversas circunstancias acontecidas entorno al proyecto cuestionaron la continuidad del mismo, que fue paralizado temporalmente antes de que comenzaran los trabajos en esta última ciudad, quedando relegado al olvido definitivamente a finales del s. XVIII⁶⁶.



1-39: Maqueta de Cádiz. Vista de las Puertas del Mar, en primer plano y de la Catedral Nueva al fondo (1777-79). Autor: Alfonso Ximénez. Fuente: Museo de las Cortes de Cádiz.

CONSIDERACIONES PREVIAS

Por último, aunque no pertenecen al género de documentos cartográficos de Cádiz, también haremos en este punto una rápida reseña a las vistas urbanas de la ciudad, pues no dejan de constituir una documentación ilustrativa y de gran interés para mostrar la fisonomía de la plaza durante el s. XVIII, resultando un perfecto complemento que ayuda a interpretar la información planimétrica representada en las plantas urbanas de este mismo período.

Las primeras vistas conservadas de la ciudad son de principios del siglo XVI [Fig. 1-40]. Pintores flamencos como Joris Höefnagel [Fig. 1-41 y 1-42] y Anton van den Wyngaerde [Fig. 1-43] mostraron en este formato distintas perspectivas y acontecimientos históricos de la ciudad a lo largo de este siglo⁶⁷.



1-40: Dibujo de la ciudad de Cádiz sobre un postigo (¿1513?). Autor: Anónima.
Fuente: Archivo General Simancas. (Valladolid).



1-41: Vista de las Torres de Hércules, la almadraba y de la Puerta del Muro de Tierra (Cádiz, 1572). Autor: Joris Höefnagel.
Fuente: Civitates Orbis Terrarum, Vol. I.

1-42: Vista de Cádiz (1572). Autor: Joris Höefnagel.
Fuente: Civitates Orbis Terrarum, Vol. I.



1-43: Vista de Cádiz (1567). Autor: Antón van den Wyngaerde.
Fuente: Biblioteca Nacional de Viena (Austria).



⁶⁷ Para más información acerca de las vistas sobre la ciudad de 1513, de Joris Höefnagel y Antón van den Wyngaerde, consúltese (Navascués y de Palacio 1996).

Sin embargo, a excepción de las realizadas por Louis Meunier (1665-68) [Figs. 1-44 y 1-45], del s. XVII no se conserva ninguna vista de Cádiz (Calderón-Quijano et al. 1978, p. xcii). Durante el s. XVIII, este género volvió a recobrar protagonismo en la ciudad de mano de viajeros foráneos como Noël, Albrizzi, Grolliez, Alix o Henry Swinburne que ilustraron desde diferentes ángulos la solidez de sus defensas y su esplendor como plaza fuerte [Figs. 1-46 a 1-48].



1-46: Vista de Cádiz desde el puerto (1741). Autor: Anónima. Fuente: Biblioteca Nacional de España.



1-44: Vista de Cádiz (1665-68). Autor: Louis Meunier. Fuente: (Gámiz-Gordo 2011, p. 77-78).



1-47: Vista de Cádiz desde la zona del puerto (1745). Autor: Giovanni Battista Albrizzi. Fuente: Biblioteca Nacional de España.



1-45: Vista Plaza Mayor de Cádiz (1665-68). Autor: Louis Meunier. Fuente: Biblioteca Nacional de España.



1-48: Vista de Cádiz desde el muelle principal (1795). Autor: Pedro Grolliez. Fuente: Biblioteca Nacional de España.

CONSIDERACIONES PREVIAS

Es, sin duda, durante la primera mitad del siglo XIX cuando este género artístico protagonizaría sus mejores logros en la ciudad, reportando vistas aéreas de toda la plaza probablemente tomadas en vuelos con globo aerostático. Éstas muestran el desarrollo de un incipiente urbanismo que se abría paso derribando y quitando murallas en favor de nuevas edificaciones que apremiaban por aflorar en la trama de la ciudad [Fig. 1-49]. Los dibujantes viajeros que ofrecían sus vistas urbanas a las grandes editoriales europeas, proliferaron en este período. Figuras de este género, como Alexandre de Laborde, barón Taylor, George Vivian, Nicolás Chapuy o Alfred Guesdon [Figs. 1-50 y 1-51] dejaron plasmado el sello de su impronta en diversas vistas de la ciudad⁶⁸.

⁶⁸ Para más información, consúltese (Gámiz-Gordo 2011).



1-49: Vista de la plaza de Cádiz por la parte del Sur (1800). Autor: Francisco de Paula Martí. Fuente: Biblioteca Nacional de España.



1-50: Vista panorámica de Cádiz desde la bahía (1855). Autor: Alfred Guesdon. Fuente: Biblioteca Nacional de España.



1-51: Vista panorámica de Cádiz desde San Sebastián (1855). Autor: Alfred Guesdon. Fuente: Biblioteca Nacional de España.

⁶⁹ No existe una coincidencia plena en establecer este límite en 0,2 mm. La escala del documento cartográfico y la probabilidad con la que los errores representados se sitúan por debajo de dicho valor, determinan otros niveles de referencia (Ariza-López y Atkinson-Gordo 2006, p. 17).

⁷⁰ La producción cartográfica actual no emplea un estándar común para el control de su calidad posicional. Existen diversas propuestas metodológicas (Ariza-López, Atkinson-Gordo y García-Balboa 2001; Ariza-López y Atkinson-Gordo 2006, p. 6-8), encontrándose entre las más extendidas: Test NMAS (National Map Accuracy Standard); Test EMAS/ASPRS (Engineering Map Accuracy Standard/American Society of Photogrammetry and Remote Sensing); Test de la Fórmula de Koppe; Test NSSDA (National Standard for Spatial Data Accuracy); Test UNE-EN ISO 19157:2014, etc...

⁷¹ A este respecto añadir que resulta llamativo, como revelan algunos estudios (Jakobsson y Vauglin 2002; Ariza-López y Atkinson-Gordo 2006), que los procedimientos para el control de la calidad y la exactitud posicional aplicados en los últimos años por los países europeos a su producción cartográfica, resulten poco transparentes y armonizados. Lo que incluso hace dudar de su aplicación en algunos casos.

5. NATURALEZA Y CARACTERÍSTICAS DE LOS ERRORES PRESENTES EN LOS MAPAS Y PLANOS HISTÓRICOS

En 1965 un trabajo del profesor Eduard Imhof (1965, p. 23) concluyó que los análisis de precisión en cartografía histórica siempre arrojan resultados relativos o probables. A la vista de esta reflexión podemos concluir que el análisis de la exactitud posicional de los mapas históricos resulta inevitablemente imperfecto. Ello se debe a que el error presente en los mapas antiguos tiene un gran número de causas diferentes. Algunos autores (Blakemore y Harley 1976, p. 65; Forstner y Oehrl 1998, p. 35) dividen estos errores en aleatorios y sistemáticos.

Errores aleatorios

Los errores aleatorios son fruto del proceso de elaboración y producción de un mapa. Dentro de esta tipología, a grandes rasgos, podemos diferenciar entre errores de trazado y errores derivados del soporte.

- Errores de trazado:

La máxima magnitud capaz de ser apreciada por la vista humana se denomina límite de percepción visual. Dicho valor, habitualmente⁶⁹ queda fijado en 0,2 mm. Aunque no es igual para todos los individuos ni circunstancias, diversos estudios han

concluido que, de forma general, cualquier detalle cuya dimensión real traducida a la escala del mapa resulte igual o inferior a este valor, no resultará apreciable. En consecuencia, esta fuente de error condiciona el máximo nivel de detalle plasmable en un mapa o plano, en función a su escala. Así multiplicando dicho valor por el denominador de una escala, podremos conocer la menor dimensión apreciable a esa proporción. Evidentemente este límite constituye una fuente de error inherente a cualquier documento cartográfico y es asumido en la actualidad (Baiocchi y Lelo 2010, p. 98) por muchos países como un valor de referencia para establecer el límite estándar de calidad⁷⁰ en la producción cartográfica contemporánea⁷¹.

Otra importante fuente accidental de error, a considerar a la hora de evaluar la distorsión de un mapa y su análisis cartométrico, proviene de las inexactitudes en la traslación de medidas durante el proceso de elaboración y copiado de un mapa o plano (Maling 1977; Hooke y Perry 1976, p. 178), derivadas del propio grosor de los trazos o por la representación inexacta de puntos o líneas bien determinados en el levantamiento de campo. Efectivamente, en la cartografía histórica la reproducción de mapas y planos mediante su transcripción manual ha sido una labor habitual, particularmente en la producción cartográfica hasta la segunda mitad del siglo XV (Olmedo-Granados 2011b, p. 20), También ha sido frecuente en la producción de cartografía urbana a gran escala,

conservándose numerosos testimonios de ello [Fig. 1-52]. El copiado de mapas y planos también incluye las habituales operaciones de ampliación y reducción de escalas, donde las inexactitudes adquieren mayor trascendencia aún, al quedar afectadas por el factor de escala.



1-52: Copiado de planta urbana de Cádiz mediante cuadrícula (1787).
Autor: Anónima.
Fuente: Centro Geográfico del Ejército (Madrid).

También hay que considerar las particulares circunstancias y, en muchos casos, la premura con la que debían elaborarse estos documentos. Así lo han constatado, por ejemplo, Baiocchi y Lelo (2010, p. 101) en el análisis cartométrico de un mapa histórico de la ciudad de Roma y sus alrededores, atribuyendo las deformaciones observadas: *'(...) debido a la urgencia con la que la administración municipal de Roma precisaba el trabajo (...)'*.

Las anteriores fuentes de error afectan en mayor medida a la cartografía generada mediante técnicas de grabado⁷². Esta técnica aglutina las

imperfecciones propias del proceso de delineación y las específicas derivadas del estampado. Así, las deformaciones en las planchas debido al desgaste por su uso continuado, especialmente en las de cobre, constituyen un ejemplo de fuente específica de inexactitud asociada a esta técnica de representación.

Según Podobnikar (2009, p. 64) otra importante fuente de error accidental surge del elevado grado de subjetividad presente en las representaciones de mapas y planos históricos, a causa del bajo nivel de estandarización en el procedimiento de elaboración de estos documentos. Además, el proceso de producción cartográfica estaba integrado por distintas fases o etapas (Olmedo-Granados 2011b, p. 21) en las que, con frecuencia, intervenían más de un oficio y autor.

- Errores derivados del soporte:

La diversa naturaleza y composición de los soportes históricos⁷³ de mapas y planos resulta irremediablemente perecedera, característica ésta consubstancial a su propia materialidad. Además, una larga serie de agentes externos (insectos, luz, humedad, temperatura, polución, manipulación...) contribuyen a acelerar los procesos naturales de degradación de estos materiales (Hermosín-Miranda 2011, p. 50), pudiendo originar distorsiones en la información métrica representada. En consecuencia, las condiciones de conservación y preservación de un documento cartográfico pueden dar lugar a

⁷² La técnica predominante hasta finales del siglo XVIII fue el grabado calcográfico (en hueco) mediante planchas metálicas de cobre o acero. El grabado mediante planchas de madera (en relieve) estaba más extendido para aplicaciones de imprenta. Desde principios del siglo XIX, estas técnicas dejan paso a la litografía, en la que el proceso de tallado se sustituye por procedimientos químicos. Para más información sobre las técnicas de grabado en la producción cartográfica consúltese (Olmedo-Granados 2011b).

⁷³ Principalmente papel, desde principios de la Edad Media. Fabricado a mano con fibras vegetales y textiles (algodón, lino, cáñamo, trapos...). A partir de la segunda mitad del siglo XVIII, papel vitela. Desde mediados del siglo XIX, papel continuo a base de pasta de madera, de fabricación industrial, con fibras de celulosas como principal componente. También papel de tela a base de tafetán de algodón, aprestado por ambas caras con almidón, apto para recibir tintas al agua y con mejor resistencia física al desgarro y al plegado, aunque altamente sensible a la humedad (Olmedo-Granados 2011a, p. 21; Hermosín-Miranda 2011, p. 48).

⁷⁴ Las condiciones ideales de conservación aconsejan mantener niveles de humedad relativa que oscilen entre el 50-60% (Hermosín-Miranda 2011, p. 54).

⁷⁵ Para más información sobre la técnica de dibujo lavado y pintura de aguada, consúltese (Araujo y Lira 1833, p. 86-148).

⁷⁶ Las condiciones ideales de conservación aconsejan mantener la temperatura ambiente entre 18 y 20 °C (Hermosín-Miranda 2011, p. 54).

deformaciones en el soporte o incluso a su fragmentación, que sin duda alterarán la exactitud métrica de su información (Hooke y Perry 1976, p. 178).

Hermosín-Miranda (2011, p. 50-52) analiza detenidamente los riesgos más frecuentes a los que están expuestos los distintos soportes cartográficos y sus consecuencias más inmediatas. El papel, pese a ser un material químicamente muy estable, resulta extremadamente sensible a dos procesos químicos: la oxidación y la hidrólisis, que afectan directamente a sus fibras vegetales, especialmente a las procedentes de la madera. Estos dos fenómenos precisan de la intervención de otros factores externos (luz, temperatura, humedad, acidez y otros elementos biológicos). Sus principales consecuencias son el amarilleamiento y oscurecimiento, así como la pérdida de flexibilidad del soporte debido al debilitamiento de sus fibras hasta dar lugar a la descomposición del papel.

La exposición directa o indirecta a la humedad en cualquiera de sus formas, hace que las fibras del papel se hinchen y la superficie plana del documento tienda a ondularse tras su secado (Diaz y Seed 2005, p. 100). El papel, en todas sus modalidades de fabricación, resulta especialmente sensible a la humedad y a sus variaciones⁷⁴, deformándose y encogiéndose, generalmente, de forma irreversible. El dibujo lavado con pintura de aguada⁷⁵, que implica la humectación del papel, es

por ejemplo una técnica decorativa utilizada frecuentemente en la terminación estética de mapas y planos antiguos.

También las variaciones de temperatura⁷⁶ son susceptibles de alterar las condiciones físicas originales del papel, cuya antigüedad en muchos casos supera con holgura la centena de años. Blakemore y Harley (1976, p. 61) contemplan la posibilidad de que el papel pueda sufrir dilataciones y recopilan un listado con hasta 21 alteraciones más, que pueden afectar al papel tras un proceso de impresión. Nell (2009, p. 3) indica que los cambios de humedad y temperatura originan procesos de dilatación y contracción en el papel de los documentos cartográficos antiguos trazados sobre este soporte, y que este proceso se traduce, fundamentalmente, en una reducción de las dimensiones del formato que pueden llegar hasta el 1% del tamaño original.

La luz natural y la radiación ultravioleta e infrarroja también afectan a las imágenes representadas en los soportes físicos. En algunos casos, especialmente en aquellos en los que las emulsiones de representación presentan componentes de hierro, provocan el virado del color y el desvanecimiento de la imagen. El hierro de las emulsiones actúa como catalizador de reacciones químicas favoreciendo también la presencia de manchas en los soportes.

CONSIDERACIONES PREVIAS

Los agentes biológicos, entre los que se incluyen microorganismos e insectos, igualmente provocan manchas, pérdidas de consistencia y roturas del soporte.

La falta de estabilidad química en las tintas empleadas puede dar lugar a manchas por oxidación, perforaciones y corrosión, así como al traspaso de tinta al reverso y a otras zonas del documento.

La manipulación y los sistemas de almacenaje de mapas y planos también son causantes de alteraciones en la estabilidad de los soportes. Los archivos y repositorios de material cartográfico, en la actualidad, cuentan con los medios y conocimientos necesarios para garantizar la conservación de este tipo de documentos. No obstante, las perniciosas condiciones de manipulación a las que, en muchos casos, se han visto sometidos estos documentos con el transcurso de los años, se tornan en una importante fuente de deterioro para los soportes físicos.

A lo largo de la historia, muchos mapas y planos han sido plegados o enrollados para su almacenamiento y conservación y, con frecuencia, incluso encuadernados con otra documentación. Las condiciones más básicas de almacenaje de estos documentos, que implican su archivo desplegado y en posición horizontal (Hermosín-Miranda 2011, p. 52), tratan de evitar la aparición de deformaciones debidas al plisado o al peso propio.

El plegado y desplegado habitual de un soporte para su manipulación o una incorrecta posición de almacenamiento, pueden originar tensiones en las fibras del papel y producir deformaciones irreversibles, con la consecuente distorsión métrica en las dimensiones representadas.

También el mobiliario empleado para archivar estos documentos puede constituir una fuente adicional de deterioro de los soportes. Los archivos de madera, por ejemplo, son una importante fuente de acidez y, en ocasiones, de insectos y microorganismos.

Mención aparte requieren los soportes documentales en formato digital, en los que las fibras de celulosa del papel quedan reemplazadas por píxeles. El proceso de digitalización de recursos cartográficos mediante escáner incorpora nuevas fuentes de error a la determinación de la exactitud de mapas y planos en formato digital⁷⁷.

La falta de horizontalidad del soporte físico durante el proceso de digitalización, causada por la presencia de ondulaciones y pliegues, no permite conservar las proporciones métricas del documento original en la imagen ráster resultante. Existen tratamientos físicos, basados en la aplicación de presión y calor, que son aplicados por especialistas en la restauración de estos documentos con anterioridad a su digitalización, al objeto de minimizar estos efectos. También, en los últimos años, han sido desarrolladas diversas aplicaciones

⁷⁷ Véase a este respecto las interesantes conclusiones de uno de los escasos estudios (San-Antonio-Gómez, Velilla-Lucini y Manzano-Agugliaro 2015) que tratan esta cuestión en la literatura.

⁷⁸ Fuente: formulación propia.

software (Brown y Seales 2001; Pilu 2001; Yamashita et al. 2004; Diaz y Seed 2005; Čechurová y Veverka 2009; San-Antonio-Gómez, Velilla-Lucini y Manzano-Agugliaro 2015) que tratan de corregir, con mayor o menor éxito, estos defectos a partir de la imagen digitalizada del mapa o plano.

No obstante, aunque el soporte físico no presente alteraciones, el resultado de la digitalización de un mapa o plano se encuentra condicionado por la resolución del escáner empleado. Ésta limita la percepción visual que de forma natural puede ofrecer un documento en base a su escala. La resolución de una imagen ráster se mide en píxeles por pulgada (ppi), siendo el píxel la unidad mínima de resolución de la imagen. Por esta razón, en un documento cartográfico digitalizado, el límite de la percepción gráfica vendrá establecido en función de la resolución de la imagen y de la escala del plano, según la expresión⁷⁸:

$$L = \frac{2,54 \text{ cm} \times D}{100 \times R}$$

Siendo,

'L': el límite de percepción gráfica, expresado en metros.

'D': el denominador de la escala del mapa o plano.

'R': la resolución (ppi) de la imagen digitalizada.

Cualquier distancia o elemento con un tamaño natural inferior a 'L' no podrá ser apreciado en la imagen ráster de un mapa o plano.

Sin embargo, las deformaciones con origen en el soporte pueden ser detectadas con mayor facilidad que las debidas, por ejemplo, al trazado. Algunas investigaciones (Baiocchi y Lelo 2005, p. 44-45; Čechurová y Veverka 2009, p. 125, 128) han mostrado que las deformaciones debidas al soporte físico, aunque tienen un comportamiento anisotrópico, a menudo dan lugar a errores que varían con un comportamiento sistemático sobre la superficie del papel. Por tanto, las distorsiones presentes en un documento cartográfico que muestran variación de forma homogénea en valor, dirección y signo, son susceptibles de ser interpretadas como alteraciones del soporte (Baiocchi y Lelo 2010, p. 100).

Errores sistemáticos

Se establecen como errores sistemáticos los procedentes de la técnica topográfica, utilizada para realizar el levantamiento de un mapa o plano, y los derivados de la técnica cartográfica empleada para representar dicho levantamiento sobre una superficie plana.

Según Nell (2009, p. 2) la técnica cartográfica actual permite representar la superficie terrestre a gran escala con un margen de incertidumbre que se sitúa por debajo del límite de la percepción visual

humana (siendo 0,2 mm el valor adoptado de forma más general). En consecuencia, conforme disminuye la escala de representación los errores en posición cobran menor trascendencia. Sin embargo, en cartografía histórica estos errores generalmente suelen resultar varias veces mayor que el límite de la percepción visual, correspondiendo las inexactitudes en estos casos, principalmente, a los procedimientos de medición utilizados para el levantamiento del mapa o plano. Los errores asociados a un levantamiento topográfico, fundamentalmente se deben a la medición incorrecta de ángulos y distancias en los trabajos de campo (Hooke y Perry 1976, p. 178). No olvidemos que incluso a mitad del siglo XVIII, pese a resultar conocidos los métodos geodésicos y trigonométricos, los medios técnicos y personales necesarios para su correcto desarrollo escaseaban (San-Antonio-Gómez, Velilla-Lucini y Manzano-Agugliaro 2011, p. 30). Así, por ejemplo, durante los siglos XVI⁷⁹ y XVII las distancias eran estimadas habitualmente a partir del tiempo de viaje empleado en recorrerlas (Nell 2009, p. 2).

Por otra parte, hay que considerar que todos los elementos representados en un documento cartográfico no están levantados con la misma técnica topográfica ni con el mismo rigor (Podobnikar 2010, p. 85). De manera que muchos de los detalles representados en mapas y planos, aunque necesarios para la clarividencia global del documento, no resultan relevantes de cara a su

verdadera finalidad. Forman parte de lo que se conoce como elementos de relleno, levantados con técnicas menos precisas o, a veces, incluso a ojo.

Otros autores (Fleet 2007, p. 334; Nell 2009, p. 2; Baiocchi y Lelo 2010, p. 101) han constatado en sus investigaciones que el tiempo también es un factor determinante en relación a la exactitud posicional de mapas y planos, pues en muchos casos la producción contaba con escaso margen para su elaboración.

Stone y Gemmell (1977, p. 7) cuestionan si la amplia diversidad en la calidad métrica que presentan los mapas históricos pudiera deberse a la dispar formación y meticulosidad de los cartógrafos, que no aspiraban todos a un mismo estándar de calidad en su producción. Respecto al uso de las técnicas cartográficas, afirman que la mayoría de mapas a gran escala del siglo XVI y XVII carecen de coordenadas geográficas, lo que supone, por lo general, un serio contratiempo a la hora de evaluar la precisión de estos documentos. Se preguntan si, en estos casos, la imprecisión inherente al levantamiento convertía en irrelevante para el cartógrafo el problema de la proyección de una superficie esférica sobre una hoja plana de papel.

En ocasiones, la información relativa al sistema de proyección de una cartografía histórica resulta desconocida, incompleta o ambigua. Una determinación imprecisa del mismo puede acarrear una nueva fuente de error en el procedimiento de

⁷⁹ En este siglo Gemma Frisius (1533) estableció los principios de los métodos geodésicos y cartométricos (San-Antonio-Gómez, Velilla-Lucini y Manzano-Agugliaro 2011, p. 30).

evaluación de su exactitud posicional. Según Pearson (2005) una de las mayores dificultades a las que se enfrentan los estudios de la exactitud de mapas históricos se encuentra en la incertidumbre acerca de la proyección y el sistema geodésico utilizado por el cartógrafo histórico. En estos casos, la identificación del sistema de proyección utilizado se realiza tanteando diversas alternativas de proyección mediante un procedimiento de ensayo-error (Jenny y Humi 2011, p. 404), en búsqueda del mejor ajuste. Algunas técnicas se han desarrollado para reconstruir esta información geoméricamente (Tobler 1966; Ballard 1982; Mesenburg 1988, 1990, 1994) mediante una aproximación a la proyección realmente utilizada en un documento cartográfico. Estas técnicas no son totalmente satisfactorias, en tanto que necesitan cierto nivel de decisiones subjetivas por parte del investigador y sólo eliminan parcialmente la incertidumbre posicional debida a esta causa. Además, estos procedimientos han sido desarrollados para casos muy específicos (cartas portulanas, fundamentalmente), por lo que su aplicación está aún lejos de poder ser generalizada a cualquier tipo de documento cartográfico.

Parece evidente, pues, la existencia de una estrecha vinculación entre la exactitud posicional de mapas y planos y las técnicas cartográficas y topográficas empleadas en su producción. La formación y la experiencia de los cartógrafos en la elección y aplicación de estas técnicas, así como la capacidad para su rápida adaptación a la incesante

evolución tecnológica acaecida, han marcado de forma decisiva la calidad de la producción cartográfica a lo largo de la historia. Hooke y Perry (1976, p. 181) afirman: *'Los instrumentos y métodos utilizados por los topógrafos, obviamente, habrían sido una limitación en la precisión que pudo ser alcanzada'*. También Baiocchi y Lelo (2010, p. 103) se pronuncian en este sentido: *'La exactitud en la georreferenciación de cartografía histórica puede estar profundamente condicionada por las técnicas de levantamiento aplicadas durante su producción'*. Nell (2009, p. 2): *'La formación y habilidad del cartógrafo y del fabricante de planchas de cobre, eran determinantes en el resultado final'*.

Otras fuentes de error

Dentro de las fuentes de error aleatorias y sistemáticas analizadas, cabría considerar además lo que Blakemore y Harley (1976, p. 60) denominaron deformaciones intencionadas en la representación cartográfica. Éstas afectan igualmente al proceso de elaboración de un mapa o plano y estarían asociadas a una reducción de costes o a otros intereses estratégicos.

Otra fuente de error a considerar proviene de la producción fraccionada de un mapa o plano en diferentes hojas. Es un problema que suele afectar en mayor medida a la cartografía histórica producida a mediana y pequeña escala. En estos casos los errores aleatorios y sistemáticos descritos adquieren

identidad propia y un comportamiento particular para cada hoja del documento. De manera, que la aplicación de cualquier metodología para la evaluación de la exactitud posicional relativa, precisa de un procedimiento previo que permita recomponer con la mayor exactitud posible el mosaico de todas las hojas. Diversos autores se han centrado en abordar este problema (Krejčí y Cajthaml 2009; Podobnikar 2009; Molnár 2010) aportando soluciones de eficacia más o menos discutible. Al margen de la eficacia de las soluciones aportadas, en el error global presente en un mapa o plano integrado por varias hojas, esta fuente debe ser tenida en cuenta como una componente adicional.

A lo anterior, cabe añadir que los límites que permiten distinguir entre fuentes de errores accidentales y sistemáticos en la cartografía histórica, a menudo resultan difusos (Forstner y Oehrli 1998, p. 35), aunque es hacia este último tipo de fuente donde suelen encauzarse los investigadores en sus estudios cartométricos (Blakemore y Harley 1976, p. 68).

Según Lloyd y Gilmartin (1987, p. 20) a la dificultad anterior para distinguir entre ambos tipos de fuentes, se añade otro problema adicional a la determinación de la exactitud posicional en la cartografía histórica: la dependencia entre resultados y metodología aplicada. De este aspecto, nos ocuparemos en el apartado siguiente.

Como reflexión final a lo hasta aquí expuesto, baste reconocer que aislar y cuantificar las diversas fuentes de error en un mapa histórico se antoja un problema irresoluble por el momento (Lloyd y Gilmartin 1987, p. 20). Cualquier mapa podría ser una amalgama de estas fuentes de error (Blakemore y Harley 1976, p. 65). Según Andrews (1975, p. 8) la evaluación de la exactitud de un mapa puede llegar a convertirse en un caso clásico del problema de 'equifinalidad', en el que distorsiones similares provienen de causas diferentes y a las que el propio cartógrafo puede haber contribuido.

6. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA GENÉRICO OBJETO DE ESTUDIO.

Todos los mapas y planos distorsionan el espacio por el mero hecho de representar sobre una superficie plana la forma real del mundo, un principio que ya era bien conocido en la Edad Media. Ahora bien, la medida en la que cada uno lo hace depende de diversos factores. Llegar a conocer cómo un documento cartográfico deforma el espacio representado y lo heterogéneamente que plasma su veracidad geográfica, constituye la esencia del problema objeto de estudio, que en nuestro caso particular queda delimitado al ámbito posicional o planimétrico.

La evaluación de la exactitud posicional de un documento cartográfico es un problema complejo, en cuyo planteamiento intervienen múltiples

⁸⁰ Para más información, véanse (Ariza-López, Atkinson-Gordo y García-Balboa 2001; Ariza-López y Atkinson-Gordo 2006).

variables y cuya resolución admite diversos enfoques. Pese al extenso tratamiento del problema en la literatura científica, éste aún no ha quedado definitivamente resuelto. No se trata de un problema sin solución, pero sí de un problema en el que resulta difícil encontrar la solución óptima. Ni siquiera en el contexto de la producción cartográfica actual este problema⁸⁰ cuenta con una solución definitiva. Durante las próximas líneas se analizan los factores que han determinado la búsqueda de una solución satisfactoria al problema formulado, delimitando estos para el caso concreto de estudio que nos ocupa. De las alternativas metodológicas disponibles nos ocuparemos en el próximo apartado.

Entre los múltiples factores que condicionan la complejidad del problema formulado y la consecución de una solución óptima, se encuentran:

- Variabilidad del objeto de estudio.
- Disparidad y dependencia de las metodologías.
- Búsqueda de un referente cartográfico comparable.
- Caracterización de las fuentes de error.
- Acceso a la cartografía histórica.

Seguidamente pasamos a establecer el alcance concreto de cada uno de estos factores y del problema genérico en el desarrollo y planteamiento del caso particular de estudio que nos ocupa.

Variabilidad del objeto de estudio

Los mapas y planos históricos fueron producidos con fines muy concretos, básicamente para la navegación marítima y terrestre, la estrategia militar y el reparto de la propiedad de la tierra (Hermosín-Miranda 2011, p. 47). La finalidad y el contexto cultural que motivan su elaboración son aspectos estrechamente vinculados a su precisión (Hu 2001, p. 33). Resultan documentos cartográficamente muy heterogéneos: con distintas escalas, sistemas de coordenadas, proyecciones y técnicas topográficas y cartográficas. Los soportes utilizados son dispares, al igual que lo han sido sus condiciones de conservación y almacenamiento. El período histórico, el avance de la técnica, la finalidad del documento, la disponibilidad de recursos y los conocimientos matemáticos son, tan sólo, algunos de los factores que influyeron en su producción. De manera que la calidad posicional de este tipo de documentos no resulta homogénea y a menudo es impredecible. Estas circunstancias hacen que su comparación con mapas contemporáneos u otra información espacial no resulte una tarea sencilla (Podobnikar 2010, p. 87), pese a constituir el fundamento de las distintas metodologías desarrolladas hasta la fecha en búsqueda de una posible solución.

Para el caso concreto de los planos topográficos urbanos de Cádiz, elaborados durante el siglo XVIII, la heterogeneidad entre las distintas plantas se

concreta fundamentalmente en: la finalidad, las escalas, la técnica cartográfica y el estado de conservación.

De las 21 plantas analizadas, dos de ellas, de origen francés, están realizadas mediante técnica de grabado con plancha de cobre. Probablemente porque fueron concebidas para su difusión en serie con un carácter comercial. El resto, son plantas manuscritas realizadas bajo la técnica de dibujo lavado y pintura a la aguada. El soporte, en la mayoría de casos, está constituido por papel entelado. Su carácter técnico y militar tiene como principal fin ilustrar la evolución de las obras y proyectos desarrollados sobre la trama urbana de la plaza a lo largo del siglo.

También encontramos diversidad respecto a las escalas⁸¹. El rango de escalas utilizado oscila entre 720 varas/pie (360 toesas/pie fr; 1:2160) y 2800 varas/pie (1400 toesas/pie fr; 1:8400). Las escalas más frecuentes son 1200 varas/pie (600 toesas/pie fr; 1:3600) y 1800 varas/pie (900 toesas/pie fr; 1:5400).

En lo relativo al estado de conservación, aproximadamente un tercio de las plantas estudiadas presenta un mal estado de conservación, con rotura y pérdida parcial del soporte. En general, todas las plantas presentan pliegues y dobleces debido a las particulares circunstancias de uso y almacenamiento a las que

se han visto sometidas hasta recalar en archivos y repositorios cartográficos contemporáneos.

Disparidad y dependencia de las metodologías

Antes de adentrarnos en el problema referente a los enfoques metodológicos para la evaluación de la exactitud posicional en mapas históricos, conviene aclarar que los estudios de esta naturaleza relacionados con la superficie terrestre siempre han sido considerados una disciplina propia de la Geodesia. Sin embargo, la interpretación métrica de la cartografía antigua nunca ha sido objeto de investigación en este campo. Por otro lado, son varios los investigadores que tras revisar en profundidad el estado de la cuestión de los enfoques metodológicos, han llegado a la conclusión de que no ha sido postulada aún una metodología única y definitiva:

Los métodos evolucionados son numerosos y difíciles de comparar (...). En un plano más general, el concepto de precisión de los mapas es multifacética y mientras la atención se ha centrado aquí en los índices individuales de precisión, uno no puede esperar encontrar un único método de medición produciendo el 'verdadero índice' de precisión (Murphy 1978, p. 88).

Los cartógrafos recientes no acaban de consensuar la mejor forma de describir la

⁸¹ Nos referimos en este caso a las escalas con la que los planos fueron concebidos en origen. Las escalas que realmente presentan los planos en la actualidad serán analizadas en el capítulo IV. En la mayoría de documentos oscilan, por circunstancias diversas, en torno a estos valores. A lo largo de la investigación, las escalas se expresarán en el sistema de unidades utilizado por el Cuerpo de Ingenieros Militares durante el s. XVIII, referidas a la 'vara castellana', equivalente a 0,835905 m, y al 'pie de burgos', equivalente a 0,278635 m, según *Real Orden de 9 de diciembre de 1852, por la que se determinan las tablas de correspondencia recíproca entre las pesas y medidas métricas y las actualmente en uso (de Borbón y Borbón-Dos Sicilias 1852, p. 643)*. Entre paréntesis se expresará su correspondencia con el sistema coetáneo francés de escalas, referido a la 'toesa', equivalente a 1,949036 m, y al 'pie de Rei o francés', equivalente a 0,32484 m (Bourdon 1843, p. 138), de obligada aplicación en España durante el siglo XVIII, según la *Real Ordenanza e Instrucción de 1718* (Phelipe V 1718, p. 762 Ins. 14). Cuando resulte necesario se expresarán estas escalas castellanas y francesas en unidades antropomórficas menores, lo cual será objeto de aclaración explícita en cada caso. Entre paréntesis también se indicará la escala equivalente en el actual sistema decimal, que comenzó a utilizarse en la cartografía histórica desde principios del siglo XIX (Beineke 2001, p. 55).

⁸² Error medio cuadrático (RMSE), error medio absoluto (MAE), desviación estándar (σ), coeficiente de variación, coeficiente de correlación de Pearson (r), etc...

exactitud posicional de un mapa histórico. (Mekenkamp 1989, p. 87).

Como no existe un método estandarizado para determinar la exactitud de los mapas antiguos, (...). (Forstner y Oehrli 1998, p. 35).

El análisis de la exactitud de mapas antiguos es un importante campo de estudio dentro de la historia de la cartografía, pero ninguna metodología estándar ha sido genéricamente aceptada. (Hu 2001, p. 32).

Como ha quedado expuesto, no resulta fácil establecer un método de trabajo fijo ya que la variedad de técnicas cartográficas y de errores que se pueden encontrar es grande (...) (Moreno-Vergara y Cortés-José 2011, p. 65).

Ni siquiera en el contexto de la producción cartográfica actual ha sido postulada una metodología clara, única y común que permita evaluar, sin ambigüedades, los estándares de calidad en la cartografía contemporánea (Ariza-López y Atkinson-Gordo 2006).

Para estimar la precisión geométrica de los mapas históricos, en la actualidad, se utilizan una serie de métodos diferentes. Todos están basados en la comparación de características identificables y medibles en los mapas antiguos y en sus homólogos contemporáneos, aceptados como un supuesto libre de error (Forstner y Oehrli 1998, p.

35). Además cada método, aparte de utilizar características comparables de distinta naturaleza, expresa el resultado de la exactitud en base a diferentes indicadores estadísticos⁸², sin que se haya establecido un estándar, lo que hace muy difícil la comparativa de resultados y métodos, siendo ésta, en muchos casos, simplemente imposible. Sólo en aquellos métodos que recurren a herramientas para la visualización gráfica de los errores o a la utilización de un mismo índice de referencia, resulta posible realizar una comparativa entre resultados.

Murphy (1978, p. 98-100) tras comparar 7 mapas de mediana y gran escala del Ulster aplicó diversos métodos, en base a la comparación de distancias, ángulos y coordenadas de puntos del mapa, que determinan un único índice analítico (desviación estándar de los valores promedios hallados, error promedio calculado en valor absoluto, error cuadrático medio RMSE y factor de correlación de Pearson) como referencia sobre la exactitud o distorsión de los mapas, a fin de establecer las principales similitudes y diferencias entre métodos, llegó a la siguiente conclusión: '*El hecho más sorprendente para concluir este trabajo preliminar es que los resultados varían mucho en función del método analítico utilizado. Los resultados de cualquier evaluación cuantitativa de un mapa dependen, por tanto, fundamentalmente del método de análisis elegido y deben interpretarse con esto en mente*'.

Lloyd y Lilley (2009) aplicaron una triple metodología para analizar la veracidad del mapa Gough de Gran Bretaña. Tras la aplicación de estos tres métodos, los autores determinaron que no puede afirmarse que alguno de los enfoques metodológicos empleados resulte, en términos globales, mejor que los otros y que ninguno proporciona un patrón completo de todas las distorsiones presentes en el mapa. Concluyeron que la clave del empleo de tres enfoques diferentes permitió evaluar la veracidad del mapa a distintas escalas y poner de manifiesto la complejidad de la veracidad cartográfica en los mapas históricos.

Otros autores (Harley 1968; Laxton 1976; Maling 1977; Blakemore y Harley 1980) han discutido largamente sobre este asunto.

A la vista de las reflexiones anteriores, podemos concluir que no existe un enfoque metodológico perfecto para resolver el objeto fundamental de la presente investigación. La única alternativa factible para el investigador parece ser entonces, bien abandonar la idea de comprender el origen del error planimétrico de los mapas históricos, o bien continuar la línea de investigación, tratando de refinar las metodologías e interpretando los resultados a la luz de otros factores externos que puedan haberles afectado. Esta última es la línea que la mayoría de autores han adoptado y por la que optaremos también en esta investigación,

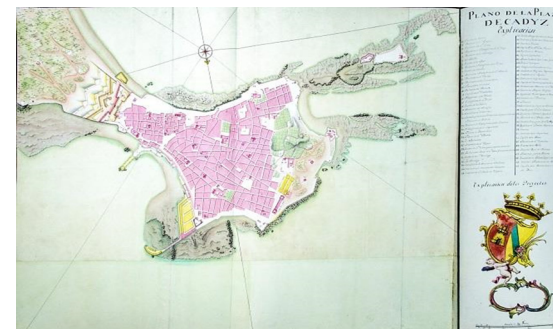
porque creemos, como dijo Harley (1968, p. 72-74), que a pesar de algunas ambigüedades presentes en las fuentes de datos, una gran cantidad de información útil e interesante puede ser obtenida a través del estudio de la cartografía histórica.

Por otra parte, la evaluación de la exactitud posicional, para el caso concreto que nos ocupa, presenta una serie de particularidades que condicionan la elección del enfoque metodológico, aspecto este último que será justificado en el capítulo V. Destacamos a continuación las principales exigencias que debería satisfacer una adecuada metodología para analizar la colección de plantas urbanas del Cádiz ilustrado:

- Metodología objetiva y reproducible:

El caso de estudio está integrado por 20 planos topográficos⁸³, siendo el objeto de la presente investigación determinar la exactitud posicional de cada uno y establecer una clasificación de los documentos que integran la colección en base a este criterio. En consecuencia, se precisa de una metodología que pueda ser reproducida objetivamente en todos los planos, aplicando las mismas pautas de trabajo en cada uno de ellos y bajo criterios técnicos homogéneos. También debe ofrecer indicadores de exactitud que permitan comparar analítica y/o gráficamente las distintas plantas urbanas.

⁸³ En la presente investigación, finalmente sólo ha sido posible evaluar la exactitud posicional en 20 de los 21 planos recopilados, que integran la colección conservada del siglo XVIII de plantas urbanas de Cádiz. Razones técnicas y económicas han impedido al Archivo General Militar de Madrid, donde se conserva el ejemplar [Fig. 1-53], facilitar una copia digital del plano para su estudio, que se encuentra incorporado a un atlas cartográfico sobre plazas fuertes de la península.



1-53: Planta de Cádiz (≈1738). Autor: Anónimo. Fuente: Archivo General Militar de Madrid.

⁸⁴ En la literatura anglosajona los puntos homólogos de control se identifican habitualmente por las siglas en inglés: CPs (Checks Points) o GCPs (Ground Checks Points). Este último caso suele reservarse para puntos identificados sobre el terreno mediante un GPS.

⁸⁵ Caso de las metodologías específicamente basadas en la identificación de CPs.

⁸⁶ Caso de las metodologías accesoriamente basadas en la identificación de CPs.

⁸⁷ Aunque se han desarrollado criterios de selección y técnicas estadísticas que tratan de reducir las fuentes de incertidumbre y que han sido objeto de un amplio tratamiento en la literatura especializada. Para más información, véanse (Plewe 2003; Ariza-López y Atkinson-Gordo 2006, p. 24-25; Krejčí 2009, p. 46; Krejčí y Cajthaml 2009, p. 35; Podobnikar 2009, p. 55; Havlicek y Cajthaml 2014, 2015 ; Cajthaml y Pacina 2015).

- Metodología independiente de la escala:

La determinación de la escala global de un mapa histórico no es una tarea sencilla, ni exacta. Con frecuencia, la escala de los mapas históricos no resulta constante (Krejčí y Cajthaml 2009, p. 29) Por tanto, quedarán descartados los métodos que precisen conocer la escala del plano con antelación a su aplicación o durante la misma. Esto sucede con frecuencia en aquellas metodologías basadas en la determinación de coordenadas, distancias y superficies de forma directa sobre la cartografía. Nos interesaremos, por tanto, en aquellas soluciones metodológicas que faciliten la escala como un resultado de salida, en lugar de precisarla como un dato de entrada.

- Metodología basada específicamente en la elección de puntos homólogos de control (CPs o GCPs)⁸⁴:

Todas las metodologías desarrolladas para la evaluación de la exactitud posicional en cartografía histórica están basadas, de forma específica o accesoría, en el uso de puntos como elementos de control. De manera que utilizan un conjunto de puntos homólogos reconocibles simultáneamente en un mapa histórico y en otro actual, referente de exactitud. Una vez identificados los elementos de control es posible aplicar alguno de los métodos desarrollados hasta la fecha. Estos están basados en un ajuste posicional entre la nube de puntos

histórica y la de referencia⁸⁵ o en la comparación de cualquier propiedad geométrica de carácter intrínseco a los puntos (coordenadas, distancias, áreas, direcciones, etc...) con auxilio del análisis estadístico⁸⁶.

Por tanto, esta labor conlleva seleccionar un conjunto de puntos homólogos de control que no ofrezcan dudas en su identificación y que presenten una geometría que evidencie su posición de forma clara. La dificultad para identificar estos puntos es un problema que puede conducir a importantes errores de registro (Gregory et al. 2002) e incluso condicionar la aplicabilidad del método (Krejčí 2009, p. 48). Este aspecto se convierte en ocasiones en la principal limitación⁸⁷ del método aplicado (Stone y Gemmell 1977, p. 8), sesgando los resultados arrojados y cuestionando de alguna manera la particular inexactitud atribuida al mapa histórico.

En lo relativo al caso de estudio que nos ocupa, la trama urbana de Cádiz, tal cual la conocemos, quedó consolidada prácticamente a finales del s. XVIII, conservando desde entonces una gran estabilidad en el parcelario definido por sus manzanas y calles, lo que permite reconocerlas en su mayor parte a través de los planos actuales de la ciudad (Ruiz Nieto-Guerrero 1999, p. 76). Esta singular característica del tejido urbano de Cádiz condiciona decisivamente la elección de un método adecuado para la evaluación de la exactitud posicional de nuestros planos topográficos, pues

permite identificar con facilidad y fiabilidad gran cantidad de puntos homólogos entre planos de la época y planos actuales. Además, otra particularidad muy importante es que permite hacerlo con una distribución espacial de la muestra que resulta representativa y homogénea de toda la trama y buena parte de su perímetro, lo que sin duda redundará en beneficio de la calidad y robustez de los resultados obtenidos. Está comprobado (Baiocchi y Lelo 2010, p. 102) que la redundancia que aporta un elevado número de puntos de control en la estimación de los parámetros de transformación de un ajuste mediante regresión bidimensional, garantiza la relevancia de los resultados aportados.

En el análisis de las plantas urbanas de Cádiz los puntos homólogos de control empleados se basan en detalles urbanos reconocibles, fundamentalmente vértices de manzanas de la trama urbana y vértices de elementos defensivos (baluartes, castillos y tramos de la muralla perimetral de la ciudad). El número de puntos de control utilizado ha oscilado en una horquilla variable comprendida entre 537 y 899 CPs, dependiendo del grado de evolución y la definición de la trama urbana plasmada en cada plano. Esta circunstancia constituye, por tanto, un claro aspecto diferencial respecto a otros casos de estudio constatados en la literatura y desarrollados sobre planos urbanos históricos (Hooke y Perry 1976; Hunt y Smith 1985; Ortega-Vidal 2000; Baiocchi y Lelo 2005; Bower

2009; Krejčí 2009; Pimentel Cintra 2010; Tucci, Giordano y Ronza 2010; Baiocchi y Lelo 2010; Lelo y Travaglini 2013; Baiocchi et al. 2013; Baiocchi y Lelo 2014; San-Antonio-Gómez, Velilla-Lucini y Manzano-Agugliaro 2014, 2015). En estos casos no resulta habitual revasar los 50 puntos de control. Tan sólo en dos de ellos (Bitelli y Gatta 2012; Baiocchi y Lelo 2014) se superó esta cifra con 183 y 256 puntos, respectivamente. En consecuencia, nuestro caso de estudio precisa de un enfoque metodológico que permita realizar una gestión sencilla y eficaz de un elevado número de puntos de control.

- Metodología que posibilite la visualización de la variación local de la exactitud posicional:

En 1978, Murphy (1978, p. 98-100) ya reivindicó la necesidad de promover nuevas vías de investigación que posibilitaran una interpretación local de la variación de la exactitud a lo largo de un mapa histórico, mediante el uso de herramientas gráficas que fueran más allá de un mero conjunto de números y datos estadísticos. Postuló el potencial de la regresión bidimensional para superponer mapas gráficamente e implementar instrumentos, como vectores o isolíneas, para la visualización de la distribución espacial del error.

Durante las últimas décadas, los esfuerzos orientados a la resolución del problema de la evaluación de la exactitud posicional en cartografía histórica han estado orientados en esta dirección. Así, resulta posible distinguir entre los enfoques

⁸⁸ MapAnalyst es una aplicación software de libre distribución que implementa informáticamente los últimos avances de las técnicas desarrolladas para la evaluación de la exactitud posicional en cartografía histórica. Fue creada por los profesores Bernhard Jenny (RMIT University of Melbourne) y Adrian Weber (miembro del Institute of Cartography and Geoinformation of ETH Zurich) en el año 2005, a partir de los algoritmos y métodos desarrollados por el profesor Dieter Beineke (Bundeswehr University in Munich). La última versión disponible es la 1.3.26, actualizada a fecha 20 de abril de 2017.

metodológicos que emplean exclusivamente herramientas analíticas para su determinación y los que además utilizan herramientas de visualización para mostrar su distribución espacial. Un buen ejemplo de todo ello es la aplicación MapAnalyst⁸⁸, que permite evaluar la exactitud posicional en cartografía histórica desde este doble enfoque: analítico y espacial, y de la que nos ocuparemos detenidamente a lo largo de los próximos capítulos.

El elevado número de CPs identificables en el entramado urbano dieciochesco de Cádiz y su homogénea distribución espacial, brindan un escenario teórico excepcional para plantear una interpretación local de la variación de la exactitud a lo largo de cada plano, así como la búsqueda de posibles interrelaciones o sesgos que puedan ser indicativos del alguna pauta de la técnica o método empleado por los ingenieros militares en la representación de la ciudad. Por esta razón, nos decantaremos por una solución metodológica que ofrezca herramientas para la visualización de la distribución espacial de los errores.

Búsqueda de un referente cartográfico comparable

Ya hemos visto que todos los enfoques metodológicos desarrollados hasta la fecha para la evaluación de la exactitud posicional en cartografía histórica, tienen como fundamento técnico el ajuste posicional o la comparación de aspectos

geométricos, a partir de puntos homólogos identificados simultáneamente en el mapa antiguo y en otra fuente documental (mapa u ortoimagen) aceptada como referente de exactitud.

El ajuste o la comparativa se llevan a cabo en estos casos siempre bajo el supuesto de que ambos documentos resultan comparables, al menos en el aspecto técnico (escala, elementos representados, elementos geodésicos, etc...), y de que ambos persiguen la representación fidedigna del territorio, aunque lo hagan con distinta precisión. Bajo este supuesto, el referente cartográfico más reciente resulta, por lo general, el más exacto (Tucci y Giordano 2011, p. 454). Considerando, por tanto, que la cartografía urbana contemporánea de Cádiz constituye un material cartográfico fiable de última generación, podemos tener la certeza de que los elementos representados en ella tienen mayor exactitud que los representados en las plantas urbanas de Cádiz correspondientes al s. XVIII.

Para nuestro caso de estudio, se ha utilizado como referente cartográfico de exactitud un plano topográfico de Cádiz en formato vectorial, producido por el Instituto de Estadística y Cartografía Andaluz dentro de la serie de 'Cartografía Urbana', elaborada por este organismo para atender las necesidades de ordenación y planificación urbanística de los núcleos poblacionales andaluces. La citada planimetría representa la trama de la ciudad correspondiente al año 2006, permitiendo identificar

con el máximo nivel de detalle el perímetro de cada manzana y de cada elemento defensivo presente en el tejido urbano de la ciudad.

Respecto a la comparabilidad de ambos documentos, en un principio, cabría plantear la posibilidad de que el referente elegido no resulte comparable con las plantas históricas de Cádiz, ya que la técnica cartográfica empleada difiere. Efectivamente, mientras que el plano topográfico contemporáneo usado como referente de exactitud está elaborado utilizando la proyección UTM⁸⁹, las plantas históricas de la ciudad están producidas a partir de una proyección ortogonal de la trama urbana, considerando plana la superficie terrestre y con coordenadas arbitrarias. No obstante, conviene aclarar que, aunque lo anterior es cierto, sólo cobra trascendencia al cartografiar zonas amplias del territorio. Cuando se trata de zonas pequeñas representadas a gran escala, como el caso de una ciudad, la distorsión que origina el empleo de diferentes proyecciones en uno y otro mapa resulta despreciable (Baiocchi y Lelo 2010, p. 101; Jenny y Hurni 2011, p. 409; Jongepier et al. 2016, p. 116).

A fin de llevar a cabo una comprobación somera en estos términos, hemos verificado la distorsión introducida por la proyección UTM (29N, ED50) en las distancias⁹⁰ determinables sobre el plano de la ciudad que utilizaremos como referente de exactitud. Con este objeto hemos cotejado una distancia testigo de 1000 m, bajo cuatro supuestos

distintos. En dos de ellos, la distancia ha quedado alineada con la dirección W-E del plano y situada, primero, en la posición de la trama urbana histórica más septentrional (baluarte de la Candelaria) y, a continuación, en la más meridional (baluarte de San Roque). En los otros dos supuestos, la distancia ha sido alineada con la dirección N-S, emplazándola primero en la posición más occidental (Castillo de San Sebastián) y, a continuación, en la más oriental (baluarte de Santa Elena) de la trama urbana [Fig. 1-54]. Este último corresponde teóricamente al caso más desfavorable, en el que mayor distorsión cabe esperar por encontrarse los puntos que determinan la distancia testigo en la posición más distante al meridiano central del huso utilizado por la proyección.

Una vez concretados los cuatro supuestos, en primer lugar se obtuvo el valor equivalente de estas distancias sobre el elipsoide de referencia, partiendo de las coordenadas UTM de sus extremos y aplicando el factor de escala (k)⁹¹ que introduce la proyección en cada caso. A continuación, se obtuvo el factor de reducción (C_R)⁹² que afecta a las distancias medidas sobre el terreno cuando se proyectan sobre la superficie del elipsoide. Este coeficiente de reducción permite obtener el valor equivalente de las distancias topográficas teóricamente medidas sobre el terreno y reducidas al horizonte. En las cuatro opciones comprobadas⁹³ la distancia topográfica incrementa su valor una vez proyectada, pero siempre por debajo de los 32 cm.

⁸⁹ Obtenida bajo la proyección Universal Transversa de Mercator (UTM: 29N, ED50), Huso 29 y sistema de referencia geodésico ED50. Fuente: G.M.U. del Ayuntamiento de Cádiz.

⁹⁰ Conviene recordar que la proyección UTM al ser conforme conserva los ángulos.

⁹¹ Mediante la expresión: $k = k_0 * ((1 + q^2 / 2R^2))$, donde k_0 es el factor de escala en el meridiano central del huso; 'q' es la distancia al meridiano central y 'R' el radio terrestre (Sánchez-Espeso 1999, p. 18).

⁹² A partir de la expresión: $C_R = 1 - H_m / R + H_m^2 / R^2$, donde 'H_m' es la altura media sobre el elipsoide de los puntos extremos que determinan cada distancia y 'R' el radio terrestre. Para simplificar los cálculos, en todos los casos se ha adoptado como altura media sobre el elipsoide la cota elipsoidal (113,603 m) del vértice geodésico nº 106171, ubicado en el casco urbano de la ciudad (Sánchez-Espeso 1999, p. 10).

⁹³ También se han comprobado distintos supuestos de altura elipsoidal hipotéticamente razonables en estos cuatro casos y la conclusión final a la que se llega no cambia en esencia.



1-54: Comprobación de la distorsión introducida por la proyección UTM en el plano de Cádiz (2006) utilizado como referente de exactitud, sobre una distancia testigo de 1000 m, emplazada en cuatro supuestos distintos. Autor: Elaboración propia.

⁹⁴ El centro histórico de Cádiz puede quedar inscrito en el interior de un círculo de radio 1 km.

La principal conclusión que podemos extraer es que la proyección UTM (29N, ED50) produce un ligero aumento en las distancias representadas en el plano de referencia, respecto a las teóricamente medidas sobre el terreno y reducidas al horizonte. Concretamente, para el caso más favorable este incremento es de 29,5 cm/km y, para el más desfavorable, de 31,2 cm/km. Podemos afirmar, por tanto, que cualquier distancia determinada entre dos puntos de dicho plano, incrementa su valor en aproximadamente unos 30 cm/km respecto al valor que topográficamente quedaría determinado en el terreno entre estos puntos.

Así pues, considerando la limitada extensión de nuestro área de estudio⁹⁴ y la elevada densidad de puntos de control que utilizaremos, puede asumirse que este matiz no implicará una fuente significativa de distorsión adicional en los resultados obtenidos. Más aún en el caso de la cartografía histórica donde, la magnitud de los errores presentes debido a otras fuentes, se traducen en distorsiones muy por encima de estos valores (Stone y Gemmell 1977, p. 7). Considérese que a las escalas que están elaboradas las plantas urbanas de Cádiz, la distorsión introducida por la proyección UTM en las distancias ni siquiera es una magnitud representable gráficamente.

Caracterización de las fuentes de error

La diversidad de las fuentes de error presentes en los documentos cartográficos históricos, ya sido

objeto de reflexión en el apartado anterior. Los límites que permiten discernir entre los distintos tipos de fuente no resultan nada evidentes y, hoy por hoy, no ha sido desarrollada ninguna metodología o estudio concluyente a este respecto. Su identificación y delimitación en mapas y planos, sigue siendo una asignatura pendiente en los estudios sobre exactitud posicional. En esta y en otras cuestiones, como la mejora del conocimiento sobre las técnicas y métodos topográficos empleados por los cartógrafos y topógrafos antiguos, deben redoblarse los esfuerzos investigadores durante los próximos años.

A la vista de la reflexión anterior, podemos concluir que no se ha desarrollado ningún enfoque metodológico adecuado para afrontar este problema. Para el caso particular de estudio que nos ocupa nos limitaremos a interpretar los resultados obtenidos en cada planta urbana a la luz de las posibles evidencias externas acontecidas que, de alguna manera, puedan contribuir a esclarecer el origen y la naturaleza de las fuentes de error en ellas presentes.

Acceso a la cartografía histórica

El acceso a los mapas y planos antiguos, hasta época reciente, ha estado restringido exclusivamente a instituciones del ámbito militar o del Estado y, muy excepcionalmente, a investigadores y especialista en la materia. Las

limitaciones a su divulgación y uso han constituido un verdadero impedimento para el progreso del conocimiento en esta materia.

La configuración en España de las cartotecas como centros especializados en el tratamiento, conservación y difusión del patrimonio cartográfico, se remonta al primer tercio del s. XX y sólo en el último cuarto de siglo este tipo de centros ha experimentado un crecimiento importante (Líter-Mayayo 2011, p. 24). Además, las primeras normas que regulan la descripción de los materiales cartográficos conservados en los repositorios de nuestro país, no se publicaron hasta el año 1988. Las regulaciones de esta naturaleza publicadas en España hasta la fecha han sido tildadas (Colomar-Albájar 2011, p. 28) de insuficientes y genéricas para la descripción de los materiales cartográficos de carácter histórico, no resultando adecuadas para una descripción pormenorizada de las colecciones de los archivos y dificultando cualquier labor de rastreo documental.

A ello se une que la cartografía militar, por su propia naturaleza, era producida en series muy limitadas, por lo general de forma manuscrita. Muchos mapas y planos militares fueron clasificados como documentos secretos. En consecuencia, su identificación y rastreo en las cartotecas y colecciones documentales resulta más complicada aún, ya que frecuentemente pasan inadvertidos en

relación a otros registros con los que guardan cierta relación y con los que deben analizarse conjuntamente para su completa comprensión. De hecho, a pesar del significativo cambio acontecido en los últimos años en lo referente a la difusión del patrimonio cartográfico conservado, muchos mapas y planos militares siguen aún esperando ser descubiertos y clasificados por los investigadores (Smith 2010, p. 53).

Un notable progreso se ha logrado en las últimas décadas con la mejora de la accesibilidad a los mapas históricos a través de las cartotecas virtuales⁹⁵, concebidas como una solución para acceder, vía Internet, a las colecciones distribuidas por los distintos repositorios y archivos mundiales. Diversas plataformas⁹⁶ públicas o privadas permiten a sus usuarios la consulta, visualización y reproducción de fondos cartográficos a través de la web, facilitando el trabajo de los investigadores y contribuyendo a la difusión del patrimonio histórico. Otra de las ventajas ofrecidas por estas herramientas consiste en evitar el contacto físico directo con los documentos y, por tanto, su deterioro, favoreciendo la preservación de los fondos cartográficos. No obstante, en la actualidad muchas de las instituciones que gestionan estos repositorios virtuales guardan cierto recelo hacia la publicación de los fondos cartográficos digitalizados en alta resolución, bien por un trasfondo económico, bien por temor a las descargas masivas y a la circulación sin control de esta valiosa información.

⁹⁵ Para más información sobre la situación y los proyectos relacionados con cartotecas virtuales en España, véase (Fernández-Wytenbach y Bernabé-Poveda 2011).

⁹⁶ *Cartocat* (Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya); *Hispana* (Ministerio de Educación, Cultura y Deporte); *Europeana* (Red Europea de Bibliotecas Digitales); *bVd* (Biblioteca Virtual del Ministerio de Defensa); *Gallica* (Bibliothèque nationale de France); *SHDF* (Service Historique de la Défense du Ministère de la Défense, France); *Catálogo Digital de Cartografía Histórica* (Instituto de Estadística y Cartografía de Andalucía); *Catálogo Colectivo de la Red de Bibliotecas de los Archivos Estatales. Sección Mapas, Planos y Dibujos* (Ministerio de Educación, Cultura y Deporte) y un largo etc...

⁹⁷ Centralizados en la actualidad en el Archivo General Militar de Madrid y en el archivo cartográfico del Centro Geográfico del Ejército.

⁹⁸ Por ejemplo, la documentación gráfica elaborada por el ingeniero militar Alfonso Ximénez para la construcción del modelo o bajorrelieve de la ciudad de Cádiz, entre 1777-1779 (Granado-Castro 2012).

⁹⁹ Fondos del Instituto de Historia y Cultura Militar.

¹⁰⁰ *Département des Cartes et plans* de la Bibliothèque nationale de France.

¹⁰¹ Dos de estos planos corresponden a tiradas en serie reproducidas mediante la técnica de grabado con planchas de cobre, por lo que también es posible encontrar reproducciones de estos documentos en otros repositorios: Museo Naval de Madrid, Instituto Geográfico Nacional, Biblioteca Nacional de España, Instituto Cartográfico y Geológico de Cataluña, etc...

Pese a ello, los formatos digitalizados de los mapas antiguos, aún en baja resolución, han contribuido a cambiar el valor del patrimonio cartográfico, mejorando su difusión y accesibilidad para investigadores y el público en general. Pero también han reportado importantes avances en otras cuestiones cartográficas, tales como la evaluación de la exactitud de mapas y planos antiguos. La cartografía digital ha posibilitado su integración en los sistemas de información geográfica GIS para su reconstrucción y estudio (Székely 2009, p. 4), permitiendo el desarrollo de nuevas herramientas y enfoques metodológicos orientados en esta dirección durante las últimas décadas.

La investigación que nos ocupa ha conseguido reunir una colección de 21 plantas urbanas de Cádiz, todas ellas datadas del s. XVIII. Su localización y recopilación ha sido posible gracias a una intensa y exhaustiva labor de búsqueda, que se ha prolongado por un período superior a los dos años. Como desde un principio cabía esperar, el grueso de la colección se conserva en los principales archivos militares del territorio nacional⁹⁷, pese a lo cual se han tamizado todos los fondos (físicos y virtuales, nacionales e internacionales) que conservan entre sus colecciones algún indicio cartográfico de Cádiz. De ninguna manera, estamos sugiriendo con ello que la recopilación realizada corresponda a una relación exhaustiva de las

plantas militares que se hicieron en la ciudad durante este período. Obviamente, muchas de ellas han desaparecido o simplemente no se conservaron. En otros casos, no ha sido posible encontrar el rastro de planos que se sabe fueron elaborados⁹⁸. En definitiva, los planos recogidos en la presente tesis son esencialmente ejemplos de lo que fue la producción cartográfica militar de Cádiz en este siglo, aunque en número suficientemente representativo como para ofrecer conclusiones contrastadas. El descubrimiento futuro de algún documento nuevo, no debe sino contribuir a reforzar las conclusiones alcanzadas.

Finalmente, las 21 plantas urbanas de Cádiz, recopiladas en esta tesis, han sido localizadas en los siguientes repositorios:

- Archivo General Militar de Madrid (AGMM)⁹⁹: 10 planos.
- Archivo del Centro Geográfico del Ejército (CGE): 5 planos.
- Bibliothèque nationale de France¹⁰⁰ (BnF): 4 planos¹⁰¹.
- Service Historique de la Défense de France (SHDF): 1 plano.
- Biblioteca Nacional de España (BNE): 1 plano.

CONSIDERACIONES PREVIAS

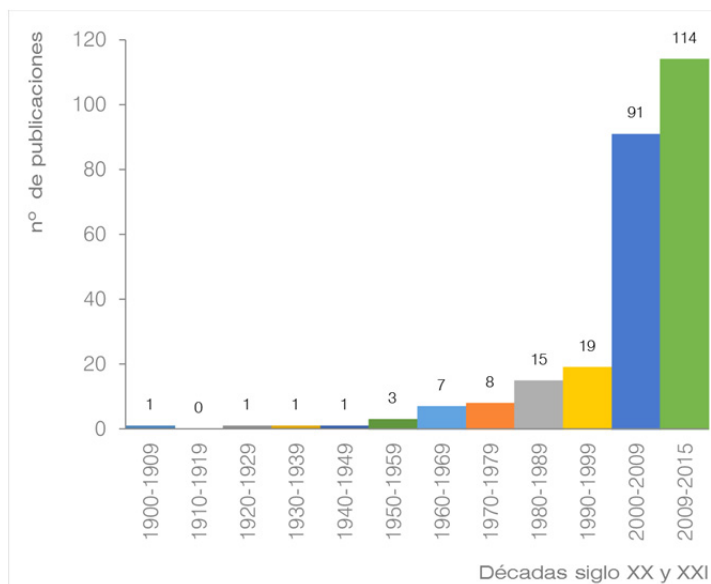
La BNE es la única fuente que en la actualidad permite la descarga gratuita de una copia digital con buena resolución. El resto de repositorios sólo ofrecen esta posibilidad previa solicitud por escrito y pago de la tasa correspondiente. Además, en tres planos localizados respectivamente en el AGMM, BnF y SHDF ha sido preciso solicitar expresamente la digitalización del documento en cuestión a los servicios reprográficos de estos archivos.

A la vista de las anteriores reflexiones formuladas sobre el problema genérico y su particular alcance y enfoque en el caso de estudio que nos ocupa, no queda sino admitir, como ya lo hicieron con anterioridad otros autores (Imhof 1965; Lindsay 1980; Gregory et al. 2002; Plewe 2003; Pearson 2005), la inevitable imperfección, por la propia naturaleza del problema, de cualquier planteamiento orientado a la búsqueda de la exactitud posicional de un mapa o plano histórico. Lo que no debe resultar óbice para su formulación y la exploración de soluciones que, aún de compromiso, contribuyan, a buen seguro, a acrecentar el valor documental y patrimonial de la cartografía histórica.

7. INTERÉS, UTILIDAD Y NECESIDAD

En la última década la exactitud asociada a la cartografía histórica se ha convertido en un tema recurrente y de creciente interés entre los investigadores, con la publicación de numerosos estudios y trabajos nuevos sobre esta cuestión. Así

lo ponen de manifiesto las conclusiones alcanzadas tras realizar una profunda revisión del estado de la cuestión en este ámbito desde principios del s. XX, de la que daremos habida cuenta en el siguiente capítulo. Han sido examinadas un total de 261 publicaciones relacionadas con esta temática, entre: artículos, ponencias, tesis y capítulos de libro. Aunque un estado de la cuestión no queda cerrado definitivamente nunca, más si cabe en una materia y un período tan amplios, sí podemos considerar la muestra cotejada bastante representativa de la doctrina generada hasta el momento. Dicho esto, resulta significativo que el 72,9 % de estos trabajos hayan sido publicados durante los últimos 10 años (2005-2015) y el 43,5% en los últimos 5 años [Fig. 1-55].



1-55: Gráfico con la evolución de la producción científica asociada al campo de la exactitud en cartografía histórica desde principios del s. XX. Fuente: Elaboración propia.

¹⁰² Entre los trabajos revisados en el estado de la cuestión, este tipo de estudios representan el 13% de la muestra y el 18% de los publicados a lo largo de los últimos 10 años.

Este balance tiene mucho que ver con la revolución, primero tecnológica y luego digital, acontecida desde finales del siglo pasado, y con el consiguiente progreso del conocimiento alcanzado. Los mapas y planos históricos no han sido ajenos a la misma. Esta revolución ha constituido un verdadero catalizador para la investigación en el campo de la cartografía histórica, pues ha permitido sacar a la luz infinidad de fondos y documentos cuyo acceso estaba restringido, incluso para investigadores, contribuyendo a su difusión y accesibilidad. También lo ha sido para el desarrollo de nuevas metodologías y herramientas enfocadas al conocimiento de la exactitud de este material cartográfico, permitiendo su integración en sistemas de información geográfica GIS para su reconstrucción y estudio (Székely 2009, p. 4). A este respecto, un hito de especial trascendencia tuvo lugar en 2007, durante la celebración de la Conferencia Internacional sobre la Historia de la Cartografía (IHC 2007) en Berna, en la que fue presentado el software MapAnalyst que implementa funciones específicas para la investigación de la exactitud de mapas históricos. Junto a las aplicaciones GIS, este software se ha convertido en una de las principales herramientas de referencia para llevar a cabo evaluaciones de exactitud en cartografía histórica, generando, desde entonces, el 13% de los estudios desarrollados en este campo.

Por otro lado, la evolución tecnológica ha permitido en las últimas décadas explorar otros

ámbitos de investigación de gran interés. En este sentido, las herramientas de visualización gráfica que incorporan aplicaciones como MapAnalyst, han supuesto un gran avance. Éstas permiten identificar aquellas áreas con mayor grado de exactitud y, por ende, ofrecer indicios sobre la autoría del documento y su correcta datación. Ello es posible gracias a que todo mapa o plano incorpora evidencias de su propio proceso de producción, a través del selectivo tratamiento de la información geográfica que realiza cada autor (Lloyd y Lilley 2009, p. 28).

Pero la verdadera utilidad de las técnicas que permiten cuantificar el grado de precisión de estos documentos, más allá de su contribución al engrandecimiento del valor del patrimonio cartográfico, reside en la oportunidad brindada a otras ramas del conocimiento de acceder a una valiosa información. No sólo cartógrafos, topógrafos e historiadores están interesados en conocer la precisión de estos documentos, también muchas disciplinas afines (p.e.: Geología, Glaciología, Hidrología, Ecología, Sociología, Urbanismo, Demografía, etc...), que se ocupan del análisis territorial diacrónico, precisan de este tipo de estudios (Baiocchi y Lelo 2010, p. 98). Así pues, es frecuente encontrar en la literatura a lo largo de los últimos años numerosos trabajos¹⁰² que aplican técnicas de evaluación de la exactitud posicional a mapas y planos históricos, como un paso previo al verdadero fin de su investigación. En esta dirección

hemos constatado trabajos enfocados, entre otros aspectos, a: la localización sobre cartografía reciente de las posiciones ocupadas por las tropas confederadas y de la unión durante la Guerra Civil americana; la reconstrucción de la línea de costa y su paisaje histórico en diversas zonas marítimas; la evolución diacrónica del balance hídrico en cuencas hidrográficas, lagos y ríos; la alteración de paisajes rurales, cauces de ríos y masas forestales, a consecuencia de la interacción humana con el medio; la desecación de salinas, marismas, lagunas y otros entornos húmedos naturales; la evolución en el tiempo de la vulnerabilidad sísmica de una ciudad; el estudio de los usos históricos de la tierra; el progreso en la implantación de infraestructuras ferroviarias y carreteras; el desarrollo urbano de ciudades y la desaparición de elementos patrimoniales de la trama urbana; la recuperación de la toponimia antigua de campiñas rurales; la identificación de antiguas formaciones geológicas (islas) desaparecidas por las variaciones hidrológicas en grandes lagos..., y un largo etc.

Quizás, de toda la casuística constatada en la literatura, la más llamativa, por sus connotaciones geográficas y políticas, haya sido la aplicación de la cartografía antigua a la reconstrucción, tras la Guerra de los Balcanes, de las fronteras históricas en una zona de acceso al Mar Adriático, entre Bosnia-Herzegovina y la República de Montenegro (Tuno et al. 2011).

Por todo ello, las técnicas para la evaluación de la exactitud en cartografía histórica resultan de gran utilidad a otras ramas del conocimiento, siendo éste un ámbito de estudio que goza de gran interés y relevancia internacional (Nell 2009, p. 1). Aunque la información espacial que proporcionan no es a veces toda la que se precisaría, no dejan de aportar un justo equilibrio entre exactitud e información histórica.

Asimismo, podemos considerar la cartografía histórica como una fuente esencial y necesaria para el estudio de la evolución del territorio, que permite reconstruir la secuencia lógica del devenir de acontecimientos físicos y humanos con un valor dimensional de la información en el espacio geográfico (Cortés-José 1998, p. 41-42). Informar y orientar sobre la exactitud de estas fuentes a los investigadores y usuarios ocasionales de otras disciplinas, no especializados en las mismas, debe ser una finalidad y responsabilidad de los estudios realizados en esta materia (Harley 1967, p. 9), y también (Harley 1968, p. 62): *'el proceso de evaluar la exactitud de los mapas constituye un fin último de los estudiosos de la cartografía en tanto esta actividad permite a los investigadores de otras disciplinas históricas usar las evidencias cartográficas con garantías'*.

Las reflexiones anteriores justifican suficientemente el interés, la utilidad y la necesidad de emprender, en términos generales, estudios

relativos a la cartografía histórica y su exactitud. No obstante, la especificidad del caso particular de estudio que nos ocupa permite postular otras razones añadidas de interés y utilidad.

En primer lugar, el marco excepcional que supone la colección del s. XVIII sobre planos topográficos de Cádiz que, por singularidad, variedad, calidad y alcance histórico, constituye la máxima expresión de su testimonio gráfico durante la Edad Moderna y un referente único en su género, de incuestionable valor e interés. Se trata de una documentación indispensable para el conocimiento de la etapa ilustrada de la ciudad y, en particular, para cualquier actividad de investigación relacionada con ella. De gran utilidad para estudios históricos, pero también para aquellos de otra naturaleza y alcance diacrónico que guarden relación con su evolución urbana, militar, patrimonial, administrativa, demográfica, arquitectónica, topográfica, paisajística, geológica, hidrológica, ambiental, etc...

Esta secuencia cronológica de planos del s. XVIII, ha permitido llevar a cabo investigaciones de diversa naturaleza que describen, con referencia a este marco temporal, distintos aspectos coyunturales de la ciudad, tales como: su evolución y desarrollo urbano (Ruiz Nieto-Guerrero 1997, 1999 ; Ruiz Nieto-Guerrero y Jiménez Mata 2016; Bustos-Rodríguez 2008); la configuración de sus defensas y fortificación (Fernández-Cano 1973; Chías-Navarro y

Abad-Balboa 2011; Ortega-Feliu y Aladro-Prieto 2012); sus fuentes cartográficas y bajorrelieves (Calderón-Quijano et al. 1978; Bonet-Correa 1991; Martínez-López 2000; Calatrava-Escobar et al. 2011; Granado-Castro 2012; Olmedo-Granados 2013; Granado-Castro y Martín-Pastor 2016a, 2016b, Granado-Castro, Barrera-Vera y Aguilar-Camacho 2016a, 2016b); sus ingenieros militares (Capel-Sáez et al. 1983; Cano-Révora 1994); sus accesos terrestres (Cano-Révora y Torrejón-Chaves 1993) o la puesta en valor de su patrimonio histórico militar (Moreno-Tello 2011).

Sin embargo, hasta la fecha, ningún estudio ha podido contar con evidencias contrastadas acerca de la exactitud posicional de estas plantas urbanas, lo que sin duda hubiera sido deseable y necesario. A ello trata de contribuir la presente investigación, dando a conocer el grado de certidumbre geométrica que llegaron a alcanzar, y cuyo conocimiento resultará de gran ayuda e interés de cara a futuras investigaciones relacionadas con esta etapa de la ciudad.

Por otra parte con anterioridad, en este capítulo, se ha realizado mención a la escasa presencia en la literatura de investigaciones orientadas a la cartografía histórica de naturaleza urbana, relegada a un papel secundario en las fuentes bibliográficas. De igual modo, las técnicas y metodologías para la evaluación de la exactitud posicional en cartografía histórica, han sido concebidas desde sus orígenes

con un claro enfoque hacia la cartografía territorial, resultando subsidiaria su aplicación a la cartografía urbana. Constituye éste, por tanto, un ámbito de investigación de gran interés dentro del campo de estudio, ávido de nuevos ensayos y resultados contrastados que puedan conducir a la apertura de nuevos cauces para la investigación. En este sentido, el repertorio de plantas urbanas de Cádiz, configura un caso tipo de máximo interés para la praxis, gracias a su carácter excepcional, al elevado número de planos que integran la colección y a las favorables circunstancias que presenta la actual configuración de su trama urbana, con escasas variaciones respecto al parcelario de la época. Ello, posibilitará llevar a cabo una evaluación de su exactitud posicional con solvencia, aplicando alguna de las técnicas desarrolladas hasta la fecha para la cartografía de mediana y pequeña escala.

Por último, la estrecha vinculación entre esta colección de planos y el Real Cuerpo de Ingenieros Militares, abre la puerta a resolver algunas incógnitas sobre la técnica cartográfica que estos técnicos practicaban en el s. XVIII, antes de la consolidación definitiva de los principios de la cartografía geodésica en la representación urbana. Su exactitud posicional, será el primer objetivo. Pero también, la concreción de autorías que las evidencias afloradas, a raíz del conocimiento de la exactitud de cada plano, puedan generar. En este sentido, los últimos avances en las técnicas desarrolladas permiten conocer la exactitud de la

cartografía antigua con carácter local. La comparación de estos resultados locales entre las distintas plantas urbanas analizadas, permitirá identificar sesgos de autoría y, lo que aún es más interesante, determinar si los nuevos planos se elaboraban de forma autónoma e independiente respecto a la cartografía precedente o, por el contrario, se apoyaban en ella. La determinación de las escalas de la época empleadas por el Cuerpo de Ingenieros y las relaciones entre éstas y el sistema de escalas francés, será otro importante aspecto que permitirá conocer el estudio de esta colección. La variedad de ejemplares y su representatividad cronológica a lo largo de toda la centuria considerada, invita a pensar que es posible cuantificar el teórico progreso de la técnica cartográfica a lo largo del siglo. De manera, que de ser así, esta evolución debiera quedar reflejada de manera secuencial en la exactitud posicional de las distintas plantas que integran la colección.

En resumen, la escasez de estudios sobre la exactitud de la cartografía urbana en la literatura es manifiesta. El repertorio de mapas y planos de Cádiz y su bahía, durante la Edad Moderna, constituye todo un referente cartográfico a nivel internacional, pero paradójicamente es un campo de estudio prácticamente ignoto, más allá de diversas iniciativas para su catalogación. Los estudios sobre exactitud geométrica en la cartografía gaditana de la Edad Moderna, brillan por su ausencia. Los restos de la colección del s. XVIII sobre plantas urbanas de

¹⁰³ Esta distinción, subjetiva, es alternativa a la clasificación más aceptada en tiempos recientes dentro de la literatura especializada (Forstner y Oehrlí 1998, p. 35; Nell 2009, p. 8,18,21), que sugieren la división de los métodos fundamentalmente en dos tipos (analíticos y de visualización) según el procedimiento seguido para expresar la distorsión presente en un mapa. Sin embargo, una y otra clasificación, en sentido estricto, resultan incorrectas. Como quedará expuesto a lo largo del Capítulo II, la búsqueda de una solución universal y definitiva al problema objeto de estudio ha reportado durante las últimas dos décadas una gran heterogeneidad en los planteamientos de los enfoques metodológicos aplicados, que combinan simultáneamente herramientas analíticas y de visualización, al tiempo que recurren a la comparación de aspectos geométricos formulados bajo los principios de la regresión bidimensional y la interpolación multicuadrática (MQI). Por tanto, en sentido estricto, es difícil establecer una línea no difusa que permita clasificar los distintos enfoques metodológicos aplicados en los últimos años al problema. Hecha la anterior salvedad, la agrupación postulada de los métodos en estos dos tipos debe interpretarse bajo la perspectiva temporal de la evolución histórica del tratamiento del problema.

Cádiz, legados hasta nuestros días, ofrecen un marco de investigación interdisciplinar de máximo interés. El parcelario del casco histórico de la ciudad conserva, en un elevado porcentaje, su configuración original de finales del s. XVIII, lo que constituye un aspecto diferencial respecto a otros posibles casos de estudio, y brinda una oportunidad excepcional para ensayar, en cartografía histórica a gran escala, las últimas técnicas desarrolladas para la evaluación de la exactitud posicional en mapas antiguos. El conocimiento de la exactitud que alcanzó la técnica cartográfica ilustrada desarrollada en estos planos por los ingenieros militares destinados en Cádiz, invita a pensar en la posibilidad de concretar autorías que, aún hoy, se desconocen y de constatar el lógico progreso en la precisión posicional que la evolución de la técnica cartográfica debió propiciar a lo largo del s. XVIII.

Por todo lo anterior, se ha de considerar de gran interés, diversa utilidad y justa necesidad el desarrollo de la presente investigación.

8. ALTERNATIVAS EXISTENTES PARA ABORDAR LA SOLUCIÓN AL PROBLEMA

En el primer apartado de este capítulo se hizo una breve introducción a la evolución, desde principios del siglo XX, de las distintas corrientes metodológicas desarrolladas, hasta la fecha, para la evaluación de la exactitud posicional en cartografía histórica. Llegados a este punto, antes de acometer

su descripción pormenorizada en el siguiente capítulo, estableceremos, a continuación, una clasificación de estas técnicas y aportaremos una breve reflexión sobre las principales ventajas e inconvenientes que aportan los enfoques metodológicos más extendidos en la literatura.

Para estimar la exactitud posicional de la cartografía antigua se han desarrollado desde finales del siglo XIX una variedad de métodos muy diferentes, sin que se haya alcanzado aún un procedimiento estandarizado. En base a los principios que comparten, podemos agrupar estas técnicas en dos tipos, según estén basadas en la comparación de características geométricas o en el ajuste mediante regresión bidimensional y la interpolación multi-cuadrática (MQI)¹⁰³.

El primer tipo aglutina todos aquellos métodos que comparten el principio común de comparar características geométricas identificables y medibles en los mapas y planos antiguos y en sus homólogos contemporáneos, aceptados estos últimos como referentes de exactitud y libres de errores. Las características geométricas que con más asiduidad han sido objeto de comparación, son: escala del plano, distancias, coordenadas, superficies, ángulos y geometrías lineales.

La diversidad de planteamientos y matices subjetivos que influyen a la hora de determinar estas características geométricas en un mapa o plano, unido a la gran variedad de supuestos cartográficos

CONSIDERACIONES PREVIAS

que en la práctica pueden acontecer, han dado lugar a un variopinto repertorio de metodologías de esta naturaleza en la literatura que, a grandes rasgos, podemos clasificar según la característica geométrica comparada, en:

- Escala:
 - Método de las coordenadas geográficas.
 - Método de las distancias o coordenadas planas.
 - Método de la escala gráfica.
- Distancias:
 - Método del error promedio.
 - Método del punto medio de comparación.
 - Método de los lados del triángulo.
 - Método de regresión local geográficamente ponderada (GWR).
 - Método del módulo de los vectores de error o desplazamiento.
 - Método del círculo (*).
 - Método de la elipse indicatriz de Tissot (*).
- De coordenadas:
 - Método del diagrama de dispersión y la correlación lineal.
 - Método de superposición.
 - Vectores de desplazamiento (*).
 - Malla de distorsión (*).
 - Isodeformadas o curvas de isodeformación (*).
- De superficies:
 - Método del error promedio.
 - Método del diagrama de dispersión y la correlación lineal.
 - Método de superposición.
 - Método de las superficies triangulares.
 - Método del coeficiente de similitud geométrica.
- De ángulos:
 - Método del error promedio.
 - Método del punto medio de comparación.
 - Método de las coordenadas polares.
- De geometrías lineales:
 - Método de superposición visual.
 - Otros métodos de ajuste entre dos líneas planas.

Establecida la anterior clasificación, conviene hacer una serie de puntualizaciones antes de proseguir:

- Todos estos métodos, a excepción de los basados en una comparación visual, evalúan la exactitud posicional de un documento cartográfico en términos de un índice numérico que establece el error promedio o global asociado a la representación espacial de la información geográfica que contienen. Este error es el parámetro determinado por estas metodologías.

- El error promedio o global se determina de manera analítica. En todos los casos, el tratamiento estadístico de los resultados arrojados por las comparaciones realizadas está presente en la determinación de este error, que suele expresarse en términos del error medio cuadrático (RMSE), error medio absoluto (MAE), desviación estándar (σ), coeficiente de variación o el factor de correlación de Pearson (r). Como se verá en el próximo capítulo hay gran diversidad de propuestas al respecto en la literatura, aunque las más extendidas hacen uso del error medio cuadrático (RMSE).
- La expresión analítica del error promedio o global sólo permite tener un indicador numérico representativo de la exactitud general del documento cartográfico, sin entrar en matices sobre su distribución local. No obstante, algunas de estas metodologías han desarrollado adicionalmente procedimientos específicos para la visualización espacial de los errores locales, permitiendo mostrar gráficamente su distribución a lo largo del mapa o plano. Estos métodos se identifican en la clasificación anterior con el símbolo (*).

Los métodos basados en la comparación de características geométricas fueron los primeros desarrollados y aplicados al estudio de la exactitud posicional, siendo los más recurrentes en la literatura científica hasta las últimas décadas del

siglo pasado. No obstante, su empleo pronto suscitó importantes dificultades. La diversidad de sistemas de proyección aplicados por la cartografía histórica y contemporánea, implica que la comparación de características geométricas, en muchos casos, no pueda realizarse de forma directa. La anamorfosis originada por cada tipo de proyección cartográfica afecta de distinta forma, según los casos, a las coordenadas, distancias, superficies y ángulos representados.

Por otro lado, la información sobre el sistema de proyección aplicado a un mapa histórico frecuentemente resulta desconocida y, en muchos casos, especialmente en el de planos antiguos a gran escala, ni siquiera fue considerada por su autor. Es a partir de finales del siglo XIX (Pearson 2005, p. 377), cuando la descripción detallada de estos pormenores comenzó a consignarse de forma habitual en los documentos cartográficos.

Los estudios sobre exactitud posicional llevados a cabo con anterioridad a la década de 1960, aunque conscientes de estas limitaciones, en la práctica aplicaron estas metodologías, basadas principalmente en la comparación de distancias, sin más. Fue durante esa década, cuando el profesor Tobler (1965, 1966), tratando de encontrar una solución a estos obstáculos, abordó el desarrollo de un sofisticado método que permitía aproximar la proyección cartográfica empleada por un mapa o plano antiguo en el que esta información resultaba

desconocida. Basado en el análisis estadístico mediante regresión bidimensional, desarrolló un procedimiento susceptible de programación computacional que determinaba el nivel de coincidencia entre la localización de un mismo patrón de puntos identificados sobre dos mapas diferentes. El método, fue concebido inicialmente para identificar la proyección aplicada a una cartografía antigua, como ya ha sido indicado. No obstante, su autor constató que cuando la proyección del mapa histórico era conocida, e incluso cuando no, esta técnica permitía determinar su exactitud posicional. Ésta queda expresada en términos del error que define el ajuste alcanzado entre los puntos de control identificados en el mapa histórico y en su referente contemporáneo de exactitud conocida.

Los trabajos iniciados por Tobler¹⁰⁴ constituyeron un antes y un después en el desarrollo de metodologías para la evaluación de la exactitud posicional en cartografía histórica. Tobler aportó un novedoso enfoque para el tratamiento del problema y abrió las puertas a nuevos estudios en esta dirección. Durante el último cuarto de siglo, el progreso tecnológico propiciado por la informática y el desarrollo de nuevas investigaciones orientadas en esta dirección (Hardy 1971, 1990 ; Tobler 1994; Brunson, Fotheringham y Charlton 1996; Fotheringham, Brunson y Charlton 2002; Beineke 2001; Symington, Charlton y Brunson 2002; Niederöst 2005; Beineke 2007), han permitido

perfeccionar la propuesta metodológica de Tobler, implementada como una utilidad en la mayoría de aplicaciones GIS y en otras herramientas informáticas desarrolladas específicamente para el estudio de la exactitud posicional en cartografía histórica, como es el caso de MapAnalyst.

Por tanto, las técnicas basadas en los principios de la regresión bidimensional formulada por Tobler, permiten establecer un segundo grupo de métodos identificables en la literatura. El tipo de transformación matemática utilizada y el uso de herramientas específicas para la visualización gráfica de la distribución local de los errores, constituyen los principales aspectos diferenciales entre unas y otras. La transformación que en cada caso debe ser aplicada depende, entre otros factores, de si se conoce o no la proyección original del mapa histórico, de su estado de conservación, del tipo de proyección empleada en cada mapa, de la finalidad del estudio, etc... Según (Cajthaml 2011, p. 2) para la superposición georreferenciada de dos mapas sólo resultan válidos los métodos de transformación lineal y los polinómicos de grado bajo. En base a lo anterior, podemos establecer la siguiente clasificación dentro de este grupo de métodos:

- Transformaciones lineales.
 - Transformación euclídea o de semejanza en el plano (Helmert 2D o de 4 parámetros).
 - Transformación afín plana:

¹⁰⁴ Waldo Tobler (1930), es un prestigioso geógrafo y cartógrafo formado en la Universidad de Washington, en Seattle. Ha sido profesor en la Universidad de Michigan, en la Universidad de Santa Bárbara de California y en la Universidad de Zurich (Suiza). Padre de la conocida como 'primera ley de la geografía': *'Todo está relacionado con todo lo demás, pero las cosas más cercanas están más relacionadas entre sí'*, ha sido pionero en la aplicación de la informática a la investigación geográfica desde la década de 1960. Su trayectoria investigadora se ha centrado en los modelos matemáticos y en sus interpretaciones gráficas a través de los sistemas de información geográfica (GIS). Muchos de sus algoritmos desarrollados han sido implementados como herramientas de este tipo de aplicaciones software, entre las que destacan diversas utilidades de la aplicación ArcGIS (Esri).

- ✓ De 5 parámetros.
- ✓ De 6 parámetros.
- Transformaciones polinómicas.
 - Orden 1.
 - Orden 2.
 - Orden 3.
- Otras transformaciones.

Estas transformaciones suelen estar incorporadas como utilidades informáticas de las aplicaciones software más habituales para la gestión de sistemas de información geográfica (GIS), que también suelen tener asociada alguna herramienta para la visualización de los errores de ajuste local. Éstas comprenden desde la mera superposición gráfica georreferenciada del mapa histórico y su referente contemporáneo, hasta utilidades más específicas para este tipo de análisis visual, como son: la malla de distorsión, los vectores de desplazamiento, curvas de isodeformación, círculos de error, etc...

En las últimas dos décadas este último grupo de métodos ha focalizado la atención de los investigadores, con un sustancial incremento de los trabajos publicados en el ámbito de la evaluación de la exactitud posicional en cartografía histórica. Las distintas líneas de estudio desarrolladas se han centrado, entre otros aspectos, en la elección del

tipo de transformación matemática más adecuada, en la optimización de los criterios de selección de los puntos de control, en la mejora y nuevos desarrollos de herramientas para la visualización de la distribución local del error y en la realización de análisis comparativos entre distintas metodologías.

Por otra parte, la ausencia de una propuesta metodológica perfecta, que satisfaga todas las necesidades que puede plantear este campo de estudio, ya ha sido puesta de manifiesto por diversos autores en la literatura. Prueba de ello, es que los dos grupos metodológicos establecidos, por un lado los fundados en la comparación de aspectos geométricos y, por otro, los basados en la regresión bidimensional, coexisten en la actualidad y se complementan, sin que ninguna de las dos opciones haya remplazado definitivamente a la otra.

Para concluir, antes de abordar en el siguiente capítulo el estudio pormenorizado de estos enfoques metodológicos, esbozaremos a grandes rasgos las principales ventajas e inconvenientes generales de cada opción:

- Métodos basados en la comparación de aspectos geométricos.
 - Principales ventajas:
 - ✓ Fundamento simple.
 - ✓ Sencillez de aplicación y cálculo.

CONSIDERACIONES PREVIAS

- ✓ Adaptabilidad a gran diversidad de soportes cartográficos.
 - ✓ Interpretación del resultado mediante un único índice analítico.
 - ✓ Facilidad para comparar resultados entre series históricas de mapas.
 - Principales inconvenientes:
 - ✓ Poca fiabilidad y homogeneidad en los resultados.
 - ✓ Escasa representatividad del error medio o global.
 - ✓ Dificultad de aplicación en muestras de gran tamaño con un elevado número de puntos de control.
 - ✓ Expresión principalmente analítica del error.
 - ✓ Obsolescencia de algunas metodologías.
 - ✓ Dependencia de la escala del plano histórico.
 - Métodos basados en la regresión bidimensional.
 - Principales ventajas:
 - ✓ Expresión analítica y gráfica de los errores.
 - ✓ Amplia variedad de herramientas para visualizar e interpretar gráficamente la distribución local del error.
 - Principales inconvenientes:
 - ✓ Facilidad para trabajar con muestras formadas por patrones con un elevado número de puntos de control.
 - ✓ Rapidez de cálculo y homogeneidad de resultados.
 - ✓ Independencia respecto a la escala del plano histórico.
 - ✓ Resultados más fiables y concluyentes.
 - Principales inconvenientes:
 - ✓ Fundamentos matemáticos, estadísticos y geodésicos complejos.
 - ✓ Aplicables únicamente a soportes cartográficos digitales en formato ráster.
 - ✓ Necesidad de software específico y formación en su manejo.
 - ✓ Dificultad en la interpretación de los resultados.
- En este capítulo introductorio se han enumerado las principales opciones desarrolladas hasta la fecha para analizar la precisión de un mapa histórico. A la vista de las alternativas existentes para abordar este problema y atendiendo a las particulares necesidades planteadas por el objeto de la investigación que nos ocupa, ya analizadas con anterioridad, adelantamos que serán finalmente los métodos basados en la regresión bidimensional los que satisfagan en mayor medida nuestras exigencias, como quedará justificado a lo largo de los capítulos II y V de esta tesis.

Bien es cierto, como ya han expresado con anterioridad otros autores, que aún existe un importante potencial y un largo camino por recorrer en la búsqueda y desarrollo de nuevas soluciones al problema de la exactitud posicional en cartografía histórica, aunque no es éste el objeto de la investigación que nos ocupa. No obstante, hemos querido realizar una pequeña contribución en esta dirección con la propuesta de un nuevo procedimiento para la captura e inserción de las nubes de puntos de control en la aplicación informática MapAnalyst, que puede ser extrapolable a otras herramientas GIS. La propuesta realizada agiliza este tedioso proceso y mejora su fiabilidad, en tanto está pensada y desarrollada para trabajar sobre cartografía en formato vectorial. Esto permite eliminar el sesgo o error que habitualmente conlleva esta operación cuando se realiza sobre cartografía en formato ráster, debido a lo que denominamos ‘factor de percepción del operador’, que tiene lugar a la hora de identificar un punto en una imagen compuesta por píxeles. El procedimiento será descrito en el capítulo V y ha sido experimentado con unos resultados muy satisfactorios en el desarrollo de esta investigación, mediante su aplicación al caso de estudio analizado, lo que ha supuesto la introducción de más de 14.000 pares de puntos de control en la aplicación MapAnalyst aplicando esta sistemática.



Ningún método constituye un camino infalible para el logro de nuevo conocimiento. No obstante, esta búsqueda debe estar articulada por una propuesta racional y ordenada de pautas que puedan permitir llegar a su obtención.

En el Capítulo III se formula el planteamiento investigador de esta tesis doctoral, integrado éste por una serie de etapas secuenciales que guardan cierto paralelismo con las fases propias del método científico.

Parte así dicho planteamiento con la formulación de una serie de cuestiones relativas al problema y al objeto de estudio, surgidas tras una pormenorizada revisión del progreso alcanzando en la disciplina que nos atañe, del que se dedujo una inmediata necesidad: la delimitación del ámbito de la investigación.

Contrastado el avance del saber dentro de este contexto, en base a las necesidades y oportunidades de conocimiento detectadas, se construyen una serie de hipótesis de partida que actúan como respuestas provisionales a las cuestiones planteadas y permiten establecer los objetivos que guiarán la investigación.

La metodología empírico-analítica ayudará a testear la veracidad de las premisas de partida, cristalizando en una serie de resultados que permitirán postular las conclusiones finales, verdadera aportación de la investigación al avance del saber en este campo.

Por último, se establece la estructura bajo la que se organizan todas las etapas del proceso de investigación seguido, y son concretados los aspectos metodológicos y procedimentales aplicados.

CAPÍTULO III

PLANTEAMIENTO INVESTIGADOR

CAPÍTULO III

PLANTEAMIENTO INVESTIGADOR

1. DELIMITACIÓN DEL OBJETO DE ESTUDIO

La oportunidad y conveniencia de mejorar el conocimiento existente sobre la exactitud de la cartografía urbana histórica de Cádiz, correspondiente al s. XVIII, fue detectada en el transcurso de una investigación previa, desarrollada a cargo del profesor Granado-Castro²⁰⁴ y que vio la luz en forma de tesis doctoral, bajo el título: 'El Cádiz de la Ilustración. Técnica cartográfica y sociedad a través del Bajorrelieve de Alfonso Ximénez' (Granado-Castro 2012), así como en varios artículos y ponencias científicas posteriores (Granado-Castro, Barrera-Vera y Aguilar-Camacho 2016a, 2016b, Granado-Castro y Martín-Pastor 2016b, 2016a).

Surgió de esta manera un interesante campo de estudio prácticamente ignoto, como se ha podido constatar tras una exhaustiva revisión de la literatura especializada publicada hasta la fecha, que ha dado pie a la presente investigación. La misma se inició con la recopilación de todos los ejemplares cartográficos que integran la colección de plantas urbanas de Cádiz, atribuidos al período histórico de la Edad Moderna, y documentados hasta la fecha en los principales repositorios y cartotecas nacionales e internacionales. Desde un comienzo se contó con información acerca de los principales ejemplares de

esta colección, testimoniados en otras publicaciones anteriores relacionadas con la producción cartográfica de Cádiz en el período moderno²⁰⁵.

La búsqueda de estos ejemplares, pronto nos llevó a una serie de conclusiones que resultarían determinantes para el devenir final de la presente investigación:

- ✓ La relevancia de Cádiz como foco de producción cartográfica a lo largo de toda la Edad Moderna alcanza su máximo esplendor durante el s. XVIII, cuando una vez finalizada la Guerra de Sucesión, sobrevienen una serie de acontecimientos de distinta índole que acaban por transformar la ciudad en uno de los mayores focos económicos y comerciales a nivel mundial.
- ✓ Desde finales del s. XVI, surge una nueva corriente cartográfica de manos de la ingeniería militar europea (italiana, fundamentalmente) que transforma radicalmente las técnicas usadas, hasta la fecha, para ilustrar la realidad urbana, dejando paso el trazado artístico basado en perspectivas simuladas mediante vistas aéreas, al rigor de la ciencia y la normalización, a través de las representaciones cenitales mediante plantas topográficas. Esta tendencia, se fue consolidando a lo largo del s. XVII,

²⁰⁴ Granado-Castro es profesor e investigador del Departamento de Ingeniería Gráfica de la Universidad de Sevilla y codirector de la presente tesis doctoral.

²⁰⁵ El detalle de las publicaciones, repositorios y cartotecas consultadas se trata pormenorizadamente en el Capítulo IV de esta tesis.

²⁰⁶ Este punto constituye una reflexión de mayor calado, que se atisbó tras tomar contacto con la producción cartográfica del período moderno de Cádiz. Con posterioridad, las distintas fuentes de referencia consultadas, así lo acreditaron (véase el apartado 3 del Capítulo I de esta investigación, pp. 8-21).

período de transición en el arte del dibujo urbano, con el desarrollo de nuevas técnicas basadas en una perspectiva mixta que, poco a poco, quedarían relegadas a consecuencia del protagonismo cobrado, en el último tercio de siglo, por el plano topográfico urbano, introducido en nuestro país de manos de la ingeniería militar francesa, a principios del s. XVIII²⁰⁶.

- ✓ La cartografía de carácter parcial sobre la ciudad, asociada a intervenciones en zonas concretas de la misma o en su perímetro amurallado, constituye la tipología documental conservada más abundante de la época moderna.

Estas reflexiones iniciales, plantearon la inmediata necesidad de delimitar, cronológica y documentalmente, el objeto de la investigación.

De manera que el marco temporal se ha ceñido al s. XVIII, etapa en la que confluyen el período histórico moderno de mayor esplendor y producción cartográfica de Cádiz, con el movimiento científico de la Ilustración y con un ciclo en el que acontecen importantes conflictos bélicos para España y en el que se asimila una nueva y meticulosa forma de representar la ciudad en nuestro país, coincidiendo con la fundación, tras la Guerra de Sucesión, del Real Cuerpo de Ingenieros Militares de su majestad

Felipe V. Se convierte así el plano topográfico, durante el s. XVIII, en un provechoso instrumento para la estrategia y defensa militar del Reino, cuyo rigor científico no alcanza aún las cotas de las representaciones basadas en principios geodésicos, que tendrán lugar mediado el s. XIX, pero que resulta de gran interés para el conocimiento histórico y anacrónico de carácter multidisciplinar sobre esta etapa legendaria de la ciudad.

Por otra parte, aún acotada al s. XVIII, la vasta producción cartográfica de Cádiz, legada en su mayor parte por el Cuerpo de Ingenieros Militares, sigue siendo inabarcable, particularmente aquella que representa con carácter parcial su trama urbana. Se trata, esta última, de la tipología documental conservada más abundante y, probablemente, la más precisa (por su escala y extensión) de manera que plantea, si cabe, un caso de estudio de menor interés para la evaluación de la exactitud posicional. Por esta razón, el ámbito documental al que finalmente se ha extendido la presente investigación, es el concerniente a las plantas topográficas urbanas que representan el parcelario completo de Cádiz.

Así pues, el objeto fundamental que justifica y sostiene el propósito de la presente investigación, es la colección de plantas urbanas completas de Cádiz, elaboradas durante el siglo XVIII por el cuerpo francés y español de ingenieros militares.

2. INTERROGANTES DE LA INVESTIGACIÓN

Establecido el objeto de estudio, la presente investigación se justifica en la necesidad de encontrar respuestas a una serie de cuestiones fundamentales acerca de éste, que reivindican la producción de un nuevo conocimiento que transforme sustancialmente la percepción que, sobre el mismo, subyace con anterioridad en diversos ámbitos disciplinares, y que podemos establecer en forma de una serie de interrogantes:

- ✓ ¿Qué nivel de exactitud posicional tienen las plantas urbanas conservadas de Cádiz, datadas del s. XVIII?
- ✓ ¿Existen modelos de solución (herramientas y metodologías) adecuados para determinar con rigor la exactitud y calidad posicional de todas las plantas que integran la colección objeto de estudio?
- ✓ ¿Hay algún paralelismo entre el progreso de la técnica cartográfica, acontecido a raíz del movimiento ilustrado del s. XVIII, y la evolución de la exactitud posicional en la representación urbana de Cádiz durante ese período?
- ✓ ¿Guardan una relación directa las zonas más antiguas e irregulares de la trama urbana de la ciudad, con las zonas de mayor deformación en las plantas analizadas?
- ✓ ¿Permite el análisis de la exactitud posicional detectar vínculos entre las distintas plantas que integran la colección y obtener evidencias sobre la técnica cartográfica y topográfica empleada?
- ✓ ¿Están bien documentadas en cuanto a fecha, autoría y escala las plantas urbanas de Cádiz en los repositorios cartográficos que las custodian?
- ✓ ¿Es posible identificar la dirección del Norte (magnético o geográfico) representado en cada planta?
- ✓ ¿Son los planos de mayor escala los más exactos?
- ✓ ¿Afecta de alguna manera la irregularidad del perímetro amurallado de la ciudad en la representación de la trama urbana interior?
- ✓ ¿Las distorsiones posicionales presentes en los planos de la colección, tienen carácter lineal o radial?
- ✓ ¿El emplazamiento del Castillo de San Sebastián, fuera de la cerca amurallada, sesgó particularmente la exactitud de su representación?

²⁰⁷ A este respecto ya han corroborado que no otros estudios previos (Ravenhill 1976, p. 84-86), (Murphy 1978, p. 97) y (Baiocchi y Lelo 2005, p. 46), aunque también hay fuentes que han constatado que sí (Tucci, Giordano y Ronza 2010, p. 61).

3. HIPÓTESIS DE PARTIDA

Una vez conocidas las necesidades que precisa satisfacer la investigación, las respuestas a las interrogantes anteriores se obtendrán aplicando el método científico.

Para ello, en base a las consideraciones previas realizadas y a la problemática planteada a lo largo del Capítulo I; tras una exhaustiva revisión, en el Capítulo II, del estado de la cuestión en el ámbito de la evaluación de la exactitud posicional en cartografía histórica, formulamos las siguientes hipótesis de partida, cuya veracidad será contrastada y razonada a lo largo de la presente investigación:

- ✓ La planimetría conservada de Cádiz, correspondiente al s. XVIII, fue elaborada con la mayor calidad y exactitud que el estado de la técnica y la tecnología de la época hizo posible, aunque con un margen de incertidumbre posicional que se sitúa por encima del actual nivel de conformidad métrico de referencia más aceptado en el contexto cartográfico: el límite de la percepción visual humana.
- ✓ Pese a estar ampliamente reconocida en la literatura la dificultad que entraña abordar el problema de la evaluación de la exactitud posicional en cartografía histórica y no haber sido consensuada

aún una propuesta metodológica definitiva, el software MapAnalyst constituye la solución más adecuada para evaluar la calidad y exactitud posicional de las plantas urbanas objeto de estudio, bajo el escenario que éstas suscitan, de una manera eficiente y rigurosa, aplicando los últimos enfoques metodológicos desarrollados.

- ✓ Aunque en la literatura se han publicado estudios con resultados contradictorios, partimos del supuesto lógico de que la exactitud posicional en la representación urbana de Cádiz durante el s. XVIII, debió estar relacionada directamente con el progreso de la técnica cartográfica a lo largo de este siglo²⁰⁷.
- ✓ Es razonable suponer que el levantamiento topográfico de las comisarías y barrios más antiguos e irregulares de la trama urbana de la ciudad, pertenecientes a la cerca medieval y sus arrabales, resultó más complejo y laborioso que en el resto del parcelario, de traza más regular, y por ende queda sujeto a un menor grado de exactitud.
- ✓ Partiremos también del supuesto de que los nuevos planos topográficos

elaborados por los ingenieros militares se sustentaban, al menos parcialmente, en la traza de plantas anteriores, siendo sólo actualizados en lo relativo a las nuevas edificaciones militares o civiles que pasaban a engrosar el parcelario.

- ✓ Presumimos que no todas las escalas, fechas y autorías publicadas por los repositorios cartográficos, en sus fichas descriptivas sobre las plantas urbanas objeto de estudio, son correctas.
- ✓ Debido a la configuración del instrumental topográfico utilizado en la época por los ingenieros militares para medir ángulos sobre el terreno y a la dificultad para calcular la declinación magnética con exactitud, operación que precisaba de la correcta observación e interpretación de fenómenos solares y/o astronómicos (Pimentel-Cintra 2010, p. 341), el Norte plasmado en los planos topográficos debe estar orientado predominantemente hacia el Polo Sur magnético.
- ✓ Los planos trazados a mayor escala permiten una representación más fidedigna de la realidad urbana.
- ✓ La irregularidad del perímetro territorial de la plaza y su particular configuración en forma de península, confinada mayoritariamente por el océano,

debieron condicionar la exactitud de su levantamiento topográfico y, en consecuencia, la geometría del parcelario interior.

- ✓ La técnica de levantamiento topográfico empleada en las plantas urbanas de Cádiz se basó, fundamentalmente, en la radiación desde puntos singulares y elevados de la ciudad, por lo que las distorsiones presentes en los planos mostrarán también este carácter radial²⁰⁸.
- ✓ El emplazamiento del Castillo de San Sebastián sobre un islote rodeado de agua y alejado de la plaza, condicionó la correcta medición de distancias y acentuó la influencia de los errores en las observaciones angulares durante su levantamiento topográfico. Ello debió traducirse en una menor exactitud relativa de su posición.

4. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

En línea con las reflexiones formuladas por Granado-Castro (2012, p. 68), compartimos que todo planeamiento investigador debe ser formulado desde una profunda y amplia percepción del campo de estudio. Sólo así resulta posible garantizar que el proceso de investigación se centre en responder a cuestiones verdaderamente innovadoras y útiles respecto al conocimiento atesorado acerca del objeto de disertación.

²⁰⁸ (Algarín-Vélez 2000) y (Heuvel 2004) comprobaron que las distorsiones en los mapas históricos no tienen carácter lineal, sino radial, a consecuencia de las técnicas de levantamiento empleadas, basadas en la radiación desde puntos singulares elevados de la ciudad (torres, murallas, etc...).

²⁰⁹ Como afirmara Harley (1967, p. 9): '(...) el proceso de evaluar la exactitud de los mapas constituye un fin último de los estudiosos de la cartografía en tanto esta actividad permite a los investigadores de otras disciplinas históricas usar las evidencias cartográficas con garantías (...)', y también: '(...) informar y orientar sobre la exactitud de estas fuentes a los investigadores y usuarios ocasionales de otras disciplinas, no especializados en las mismas, debe ser una finalidad y responsabilidad de los estudios realizados en esta materia (...)'

El propósito de la presente tesis doctoral es, por tanto, dar respuesta a las diversas interrogantes planteadas, sirviéndose para ello de una serie de hipótesis de partida, postuladas al objeto de cumplimentar con el máximo rigor las pautas del método científico.

La principal necesidad detectada en esta investigación y, por tanto, su objetivo fundamental, reside en evaluar el nivel de calidad y exactitud posicional que presentan las distintas plantas urbanas de Cádiz, conservadas y datadas del s. XVIII²⁰⁹.

El particular escenario histórico, geográfico, político, social, urbano y literario que las contextualiza, hace conveniente e interesante extender la investigación a otras cuestiones de mayor especificidad, que permiten establecer unos objetivos adicionales:

- ✓ Encontrar la metodología y los indicadores más adecuados para evaluar con rigor y eficiencia el nivel de calidad y exactitud posicional de la cartografía histórica objeto de estudio.
- ✓ Establecer una categorización o 'ranking' entre las plantas que integran la colección, en función a la exactitud y calidad posicional de las mismas.
- ✓ Expresar, en las unidades de la época, la escala original correcta (escala teórica) de cada plano y comprobar la escala

promedio actual (escala real) de cada una de ellas.

- ✓ Comprobar si la mayor irregularidad en la geometría de las manzanas del parcelario de origen medieval, se traduce en unos niveles inferiores de exactitud posicional.
- ✓ Identificar posibles vínculos y relaciones entre las plantas de la colección.
- ✓ Determinar si la exactitud posicional de las plantas urbanas mejoró gradualmente a lo largo del s. XVIII, a consecuencia del paulatino progreso tecnológico y el desarrollo de la técnica cartográfica.
- ✓ Verificar si existe algún tipo de relación entre la exactitud posicional y la escala del plano.
- ✓ Esclarecer posibles autorías, cuando así resulte factible.
- ✓ Corregir errores de datación, en base a las evidencias suministrada por otras fuentes cartográficas y documentales.
- ✓ Analizar el conocimiento y la pericia de los ingenieros militares, durante el período ilustrado, en el uso de los nortes magnético y geográfico.
- ✓ Corroborar si la incertidumbre posicional en las plantas urbanas analizadas, responde a un patrón de comportamiento radial.

- ✓ Probar el presumible sesgo posicional del Castillo de San Sebastián respecto al resto del parcelario.
- ✓ Examinar la posible influencia de la irregularidad geográfica del contorno y los bordes de la plaza en la exactitud posicional de la trama urbana interior.

5. ESTRUCTURA DE LA TESIS

El contenido de la presente tesis doctoral ha sido estructurado en ocho capítulos, agrupados en tres partes claramente diferenciadas.

- Primera parte: 'Contexto de la investigación'

Comprende los capítulos I, II y III.

El Capítulo I, como paso previo al establecimiento de las cuestiones preliminares de toda investigación, trata de situar al lector en la generalidad del problema y en la especificidad del caso de estudio. Analiza sus particulares necesidades y justifica su interés y relevancia.

El Capítulo II realiza un recorrido cronológico acerca de los principales hitos históricos en el tratamiento del problema genérico, publicados en la literatura especializada desde mediados del s. XIX. Recoge también una clasificación de los enfoques metodológicos más importantes desarrollados y aplicados por otros autores hasta la fecha, con especial atención a los exiguos estudios difundidos sobre cartografía histórica de naturaleza urbana.

En el Capítulo III, una vez conocido el alcance del estado del arte en la materia y concretada la especificidad y las necesidades particulares del caso de estudio, se formulan los planteamientos investigadores según las pautas del método científico.

- Segunda parte: 'Cuerpo de la investigación'

Los capítulos IV, V y VI, constituyen el verdadero cuerpo del trabajo.

El Capítulo IV realiza una pormenorizada disección de cada una de las plantas urbanas que integran la colección cartográfica objeto de estudio.

En el Capítulo V se ensaya, sobre una planta tipo, el análisis de exactitud posicional basado en los principios de la regresión bidimensional y la interpolación multicuadrática (MQI), implementado bajo una herramienta software (MapAnalyst 1.3.26) representativa de este tipo de análisis.

La utilización de software topográfico (Protopo 6.1) específico para la gestión de nubes de puntos sobre cartografía en formato vectorial, supone una interesante innovación en relación a los procedimientos habituales de inserción y vinculación de pares de puntos sobre cartografía ráster.

Comprobada la validez del análisis ensayado, en el Capítulo VI se reproduce este modelo para la evaluación de la exactitud posicional en el resto de planos de la colección y se interpretan los resultados obtenidos en cada caso.

- Tercera parte: 'Discusión de resultados y conclusiones'

El Capítulo VII compara, a nivel de colección, los distintos indicadores obtenidos individualmente para cada planta y las categoriza en función a su nivel de exactitud posicional. También se lleva a cabo la discusión del modelo de análisis aplicado y la confrontación de resultados concomitantes y contradictorios con otras líneas afines de investigación.

Por último, a modo de conclusión, en el Capítulo VIII se reflexiona acerca de los principales logros y limitaciones de la investigación, acorde a sus planteamientos iniciales, postulándose algunas líneas futuras de trabajo de carácter continuista.

El listado de fuentes documentales consultadas en el transcurso de la investigación, en el que se apoya la redacción de la presente tesis doctoral, pretende ser un acercamiento amplio, que no exhaustivo, a la literatura general y específica publicada sobre el tema.

Finalmente, el texto queda acompañado de dos anejos en formato digital, incorporados mediante un CD.

En el anejo I, se incorpora el detalle pormenorizado de los informes de cálculo y resultados analíticos generados por la aplicación MapAnalyst para cada una de las plantas estudiadas.

El anejo II permite consultar con mayor nivel de detalle los indicadores gráficos obtenidos tras el análisis de cada planta.

6. METODOLOGÍA DE TRABAJO

Para dar respuesta a los planteamientos investigadores previos (interrogantes, hipótesis y objetivos) se ha diseñado una estrategia de trabajo basada en tres etapas fundamentales [Fig. 3-1]:

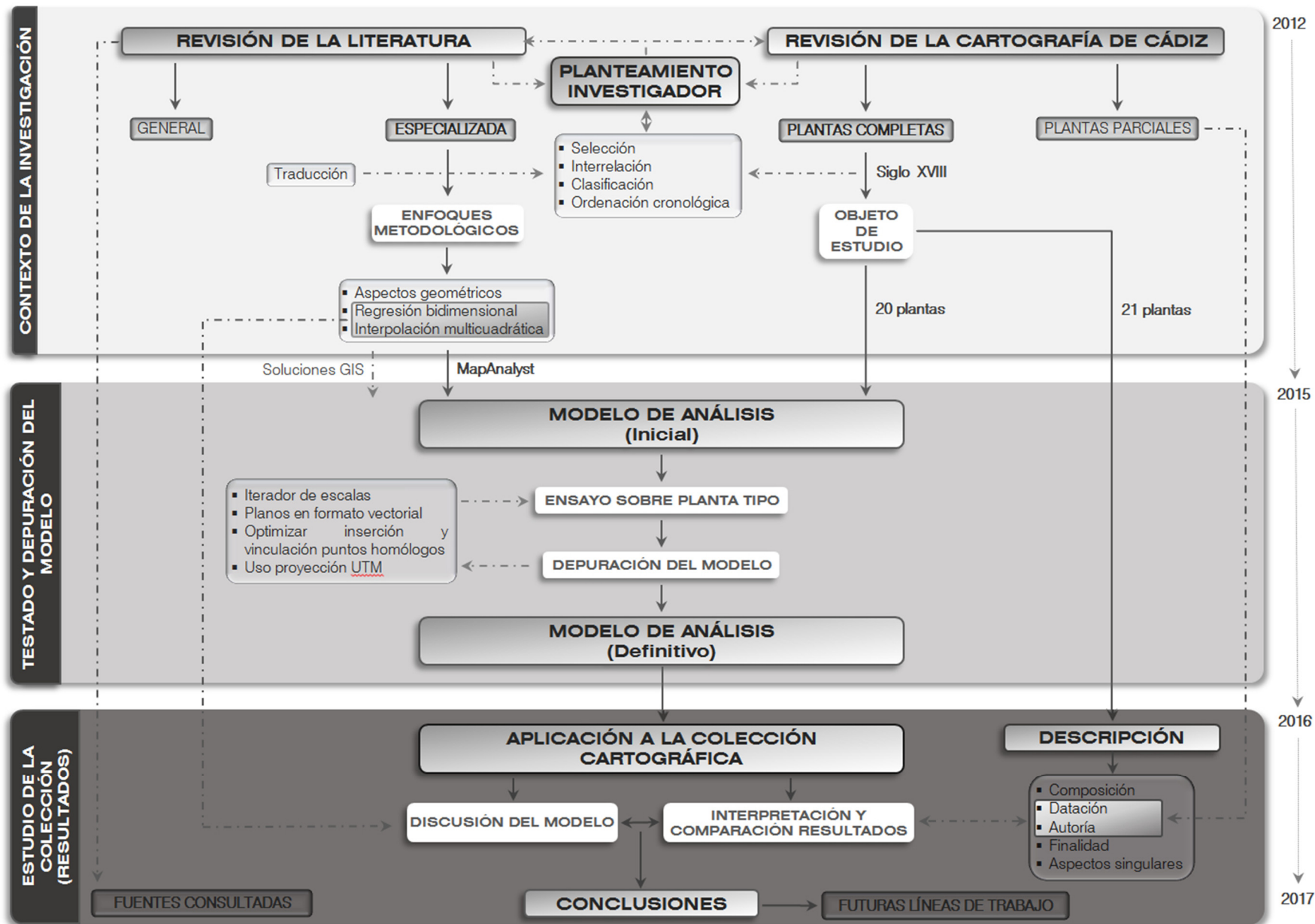
- ✓ Contexto de la investigación.
- ✓ Testado y depuración del modelo de análisis.
- ✓ Estudio de la colección (resultados).

Estas tres etapas coinciden, en esencia, con las tres partes en las que ha sido dividida la presente tesis doctoral.

- Contexto de la investigación

Etapas de carácter teórico, en la que se han llevado a cabo los estudios previos de los que parte la investigación y en los que se sustenta. Podemos diferenciar dos fases de revisión documental, que han sido desplegadas en paralelo.

En primer lugar, la búsqueda de referencias literarias de carácter científico, vinculadas con la temática de estudio y el tratamiento del problema formulado. Esta labor se ha extendido a los principales medios de divulgación científica de ámbito internacional, fundamentalmente revistas.



3-1: Esquema resumen de la metodología de investigación seguida, con la secuencia cronológica de las distintas etapas y su interrelación. Fuente: Elaboración propia.

Entre ellas, destacamos las publicaciones que han proporcionado un mayor número de reportes:

- ✓ The Cartographic Journal.
- ✓ e-Perimetron.
- ✓ Imago Mundi.
- ✓ Cartographica.
- ✓ Acta Geodaetica et Geophysica.
- ✓ Geographia Technica.
- ✓ Survey Review.
- ✓ Society of Cartographers Bulletin.
- ✓ Annals of the Association of American Geographers.
- ✓ Acta Montanistica Slovaca.
- ✓ Geoinformatica.
- ✓ Computers, Environment and Urban Systems.
- ✓ Journal of Historical Geography.
- ✓ Geodesy and Cartography.
- ✓ The Professional Geographer.
- ✓ Scottish Geographical Journal.
- ✓ Dela.
- ✓ Cuadernos Geográficos.
- ✓ Transactions in GIS.
- ✓ Computers & Graphics.
- ✓ Cartographica Helvetica.
- ✓ Cartographic perspectives.
- ✓ Città e Storia.
- ✓ The Geographical Journal.
- ✓ Geographia Polonica.
- ✓ Estudios Geográficos.
- ✓ The Geographical Review.
- ✓ Journal of Maps.
- ✓ International Journal of Geographical Information Science.
- ✓ Expert Systems with Applications.
- ✓ Geodetski vestnik.
- ✓ Investigaciones Geográficas.
- ✓ Experimental Techniques.
- ✓ Journal of Cultural Heritage.
- ✓ Quaestiones Geographicae.
- ✓ Journal of Geographic Information System.
- ✓ Scientific Research and Essays.
- ✓ Revista Brasileira de Cartografia.
- ✓ Scandinavian Journal of History.
- ✓ Belgeo.
- ✓ Applied Geography.
- ✓ Geographical Analysis.
- ✓ International Journal of Environmental, Chemical, Ecological, Geological and Geophysical Engineering.
- ✓ ACM Computing Surveys.
- ✓ Transactions on Visualization and Computer Graphics.
- ✓ Urban History Review.
- ✓ Miscellanea Geographica.
- ✓ Journal of Planning History.
- ✓ Environmental Modelling & Software.

También han resultado de interés diversas comunicaciones difundidas en los principales simposios internacionales sobre la materia, como:

- ✓ International Conference on the History of Cartography.
- ✓ International Cartographic Conference.
- ✓ International Symposium of the Digital Earth.
- ✓ International Workshop on Digital Approaches in Cartographic Heritage.
- ✓ International Geographical Congress.
- ✓ International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing.
- ✓ Proceedings of the Royal Irish Academy.
- ✓ CIPA International Symposium: international cooperation to save the world's cultural heritage.
- ✓ Conferenza Nazionale ASITA.

De igual modo, varias tesis doctorales han aportado una particular perspectiva sobre el objeto de estudio y la cuestión central de esta investigación:

- ✓ 'Las defensas de Cádiz en la Edad Moderna' (Fernández-Cano 1973).
- ✓ 'Método de transcripción y restitución planimétrica. Su aplicación al estudio de Sevilla de 1771, mandado levantar por disposición del Señor Don Pablo de Olavide, asistente de esta ciudad' (Algarín-Vélez 1998).
- ✓ 'Historia Urbana de Cádiz. Génesis y formación de una ciudad moderna' (Ruiz Nieto-Guerrero 1999).

- ✓ 'Verfahren zur Genauigkeitsanalyse für Altkarten'²¹⁰ (Beineke 2001).
- ✓ 'Metodyczne aspekty kartograficznej analizy i oceny dawnych planów miast na przykładzie planu Lublina z 1716 roku C. d'Örkena'²¹¹ (Nieścioruk 2006).
- ✓ 'Methoden der Genauigkeitsanalyse historischer Karten: am Beispiel der Gradkartenblätter 1:25.000 Innsbruck und Lienz der Dritten Österreichischen Landesaufnahme'²¹² (Nell 2009).
- ✓ 'El Cádiz de la Ilustración. Técnica cartográfica y sociedad a través del Bajorrelieve de Alfonso Ximénez' (Granado-Castro 2012).

Completan esta primera fase de revisión documental una serie de publicaciones bibliográficas relacionadas con diversos aspectos de la investigación, concretamente en materias relativas a: historia general de Cádiz, el Real Cuerpo de Ingenieros Militares, colecciones cartográficas del entorno geográfico de Cádiz, técnicas medievales y modernas de representación gráfica de ciudades, técnicas de fortificación abaluartada, técnicas de iluminación y dibujo, biografía de diversos personajes militares, etc...

La segunda fase, que tuvo lugar de forma simultánea a la primera, consistió en un exhaustivo examen de la abundante cartografía histórica, correspondiente al período moderno de Cádiz,

²¹⁰ 'Procedimiento para el análisis de la exactitud en mapas antiguos' (traducción propia).

²¹¹ 'Aspectos metodológicos del análisis cartográfico y la evaluación de planos históricos de ciudades, a través del ejemplo del plano de d'Örkena sobre la ciudad de Lublin (1716)' (traducción propia).

²¹² 'Métodos de análisis de la exactitud en los mapas históricos: el ejemplo de las hojas del mapa 1:25.000 del tercer levantamiento cartográfico de las regiones austriacas de Innsbruck y Lienz' (traducción propia).

²¹³ Se detallan en el Capítulo IV.

²¹⁴ Las limitaciones encontradas y las soluciones adoptadas se explican a lo largo del Capítulo V.

obran en los índices de los diversos repositorios y cartotecas²¹³ escrutadas en búsqueda de los ejemplares que conforman la colección de plantas topográficas objeto de estudio. A lo largo de la misma, fueron seleccionadas las plantas de interés, apartadas de otra cartografía general sobre el enclave gaditano, fundamentalmente cartas náuticas de la Bahía y del Golfo de Cádiz, así como de otra planimetría parcial (fortificación, estrategia militar, edificios públicos o particulares y población) de la trama urbana. Esta última, ha desempeñado un papel secundario en la investigación, utilizada, a lo largo del Capítulo IV, para perfilar fechas de datación y cotejar posibles autorías de los planos topográficos evaluados.

Finalmente, todo el análisis documental llevado a cabo ha permitido definir el contexto de la investigación, haciendo posible concretar las necesidades y formular los planteamientos investigadores, bajo los cuales, ésta ha tenido lugar. Obviamente, una vez concretados los objetivos, la revisión y búsqueda documental inicial ha sido refinada.

- Testado y depuración del modelo de análisis

Fruto de la amplitud de enfoques metodológicos con los que se aborda el problema genérico en la literatura y de las particulares necesidades que plantea la colección objeto de estudio, en una segunda etapa, se optó por un modelo de análisis

basado en los principios de la regresión bidimensional y la interpolación multicuadrática (MQI), convertida ésta en una solución de última generación implementada en diversas herramientas software, como MapAnalyst y algunas aplicaciones GIS.

La gran aceptación y difusión de MapAnalyst, frente a otras soluciones, su especificidad y la amigable interfaz que incorpora, junto al amplio abanico de indicadores gráficos reportados y su programación en código abierto, han sido algunos de los factores que justifican esta elección. No obstante, durante su aplicación experimental a una planta tipo de la colección, fueron detectadas, en relación al propósito de esta investigación, una serie de limitaciones. Éstas han sido objeto de depuración formulando nuevos procedimientos alternativos de trabajo²¹⁴.

El modelo de análisis definitivo surge de incorporar, a la solución inicialmente adoptada, estos nuevos procedimientos, así como una herramienta específica (Iterador de escalas), que permite determinar la escala original del plano en unidades de la época, y una metodología (Pimentel-Cintra 2010) para comprobar el tipo de Norte con el que fueron orientadas las distintas plantas.

- Estudio de la colección (resultados)

En una tercera y última etapa, que se desarrolla a lo largo de los capítulos VI, VII y VIII, se aplica

experimentalmente el modelo de análisis definitivamente adoptado a la evaluación del grado de exactitud en 20 de las 21 plantas localizadas²¹⁵.

A raíz de las omisiones y errores detectados, durante la fase de revisión cartográfica que tuvo lugar en la primera etapa de trabajo, en las fichas descriptivas que sobre esta documentación publican distintos repositorios y algunas fuentes bibliográficas, se descubrió la necesidad, y la oportunidad, de completar el estudio de la colección de plantas topográficas de Cádiz con una descripción y verificación individual de cuestiones tan relevantes como: composición, datación, autoría, finalidad y otros aspectos singulares, no puestos de manifiesto hasta la fecha, o bien concretados de forma inexacta o ambigua por estas fuentes.

Finalmente, tras la descripción y análisis de la colección, se discute la particular validez del modelo adoptado frente a los objetivos de partida y otras soluciones postuladas en la literatura para el tratamiento genérico del problema. También se confrontan entre las distintas plantas los resultados obtenidos a nivel individual y son interpretados a nivel de colección. La principal contribución de la investigación es una categorización de las plantas en base a su nivel de exactitud global, expresado en términos del error medio cuadrático (RMSE) residual.

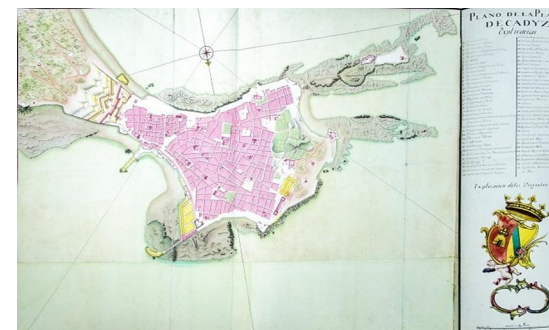
Por último, como punto final a esta tercera etapa, quedan expuestas las principales

conclusiones alcanzadas y son sugeridas posibles líneas futuras de interés para dar continuidad a la investigación.

El desarrollo de la tesis culmina con la incorporación de un anejo que contiene el informe de cálculo de la transformación afín aplicada a cada plano y el error residual del ajuste realizado entre cada par de puntos homólogos.

También se adjunta la relación de fuentes de información consultadas, ordenadas por el campo apellidos, en orden alfabético, según las pautas del estándar establecido por la norma ISO-690. Respecto a la cita de fuentes se ha recurrido al formato (Autor, fecha) en el mismo texto, siguiendo las reglas de este estándar.

²¹⁵ Por razones de índole técnica, el Archivo General Militar de Madrid no dispone de una copia digitalizada de la planta nº 11 [Fig. 3-2], ni de los medios precisos para llevarla a cabo sin deteriorar el documento original.



3-2: Planta de Cádiz (≈1738). Autor: Anónimo.
Fuente: Archivo General Militar de Madrid.

FUENTES DE INFORMACIÓN CONSULTADAS

- AENOR, 2016. *Metodología de evaluación de la exactitud posicional de la información geográfica*. [en línea]. 2016. España: s.n. Disponible en: <http://www.aenor.es/aenor/normas/normas/fichanorma.asp?tipo=N&codigo=N0056655#.WVopvTyhhE>.
- AFFEK, A. 2013. Georeferencing of historical maps using GIS , as exemplified by the Austrian Military Surveys of Galicia. , vol. 86, no. 4, pp. 375-390.
- AGENCIA EFE 2017. Un libro eleva a 133 las torres miradores de Cádiz. *La Vanguardia* [en línea]. 14 mayo 2017. pp. on-line. Disponible en: <http://www.lavanguardia.com/local/sevilla/20170514/422579345478/un-libro-eleva-a-133-las-torres-miradores-de-cadiz.html>.
- ALBERTI, L.B. 2000. *Descriptio urbis Romae. Édition critique, traduction et commentaire par Martine Furno et Mario Carpo*. S.I.: Librairie Droz, 2000. ISBN 9782600003964.
- ALGARÍN-VÉLEZ, I. 1998. *Método de transcripción y restitución planimétrica. Su aplicación al estudio de Sevilla de 1771 mandado levantar por disposición del Señor Don Pablo de Olavide, asistente de esta ciudad*. [en línea]. Sevilla: Universidad de Sevilla. Disponible en: <http://fondosdigitales.us.es/tesis/autores/1945/>.
- ALGARÍN-VÉLEZ, I. 2000. *Método de Transcripción y Restitución planimétrica. Su aplicación al estudio del plano de Sevilla de 1771 mandado levantar por disposición del Sr. D. Pablo de Olavide, asistente de esta ciudad*. Sevilla: Secretariado de Publicaciones de la Universidad de Sevilla. ISBN 84-472-0503-7.
- ALONSO-RODRÍGUEZ, M.A. 1996. Notas sobre dos técnicas de levantamiento urbano empleadas por los arquitectos renacentistas. *Actas del VI Congreso Internacional de Expresión Gráfica Arquitectónica*. Pamplona: ETSA Universidad de Navarra, pp. 195-206.
- ALTEMIR-GRASA, J.M. 2004. Desarrollo de la Geometría Descriptiva en el siglo XIX. En: INGEGRAF UNIVERSIDAD DE ZARAGOZA (ed.), *XVI Congreso Internacional de Ingeniería Gráfica*. INGEGRAF. Zaragoza: s.n., pp. 1-12.
- ANDREWS, J.H. 1974. The Maps of the Escheated Counties of Ulster, 1609-10. *Proceedings of the Royal Irish Academy. Section C: Archaeology, Celtic Studies, History, Linguistics, Literature*. S.I.: s.n., pp. 133-170.
- ANDREWS, J.H. 1975. Motive and Method in Historical Cartometry. *Sixth International Conference on the History of Cartography*. Greenwich: s.n.,
- ARAUJO Y LIRA, I. 1833. *Método practico para el dibujo lavado, pintura de aguada y de iluminacion* [en línea]. S.I.: s.n. [Consulta: 9 septiembre 2015]. Disponible en: <http://books.google.com.br/books?id=2mWlna69TWEC>.
- ARÉVALO-RODRÍGUEZ, F. 2003. *La representación de la ciudad en el Renacimiento*. S.I.: Fundación Caja de Arquitectos. ISBN 84-932542-6-6.
- ARIZA-LÓPEZ, F.J. 2014. Jornada de presentación en el Instituto Geográfico Nacional del proyecto de norma sobre control de la componente posicional UNE 148002:2016. [en línea]. Madrid: Disponible en: http://www.ign.es/resources/actividades/norma/Presentacion_Norma_UNE_148002.pdf.
- ARIZA-LÓPEZ, F.J. y ATKINSON-GORDO, A.D.J. 2006. Informes al CT-148 de AENOR: Metodologías de control posicional: visión general y análisis crítico. . Jaén:
- ARIZA-LÓPEZ, F.J., ATKINSON-GORDO, A.D.J. y GARCÍA-BALBOA, J.L. 2001. Los diferentes test para el control de calidad posicional en cartografía. *Grupo Topografía y Cartografía* [en línea]. Cali (Colombia): Disponible en: [https://campusvirtual.univalle.edu.co/moodle/pluginfile.php/483817/mod_resource/content/1/Calidad Cartográfica.pdf](https://campusvirtual.univalle.edu.co/moodle/pluginfile.php/483817/mod_resource/content/1/Calidad%20Cartografica.pdf).
- AUNIÓN, J.A. y LONGÁS, H. 2016. Menos de un kilómetro cuadrado para 43.000 vecinos. *El País* [en línea]. 27 febrero 2016. pp. online. Disponible en: http://elpais.com/elpais/2016/02/23/media/1456224524_967983.html.
- BAIOCCHI, V. y LELO, K. 2005. Géoréférencement des plans historiques (du XVIII au XIX) de la ville de Rome, et leur comparaison avec des cartes actuelles. *Géomatique Expert*, no. 45, pp. 42-47.
- BAIOCCHI, V. y LELO, K. 2010. Accuracy of 1908 high to medium scale cartography of Rome and its surroundings and related

- georeferencing problems. *Acta Geodaetica et Geophysica Hungarica*, vol. 45, no. 1, pp. 97-104. ISSN 1217-8977. DOI 10.1556/AGeod.45.2010.1.14.
- BAIOCCHI, V. y LELO, K. 2014. Assessing the accuracy of historical maps of cities: methods and problems. *Città e Storia*, vol. IX, no. 1, pp. 61-89.
- BAIOCCHI, V., LELO, K., MILONE, M.V., MORMILE, M. y TANGA, E. 2013. Knowing the past for managing the present: A comparison between historical cartography and satellite images for the study of Rome's city centre. *Geographia Technica*, no. 1, pp. 17-27. ISSN 18425135.
- BALLARD, P. 1982. Analysis in historical cartography studies. *Cartography*, vol. 12, no. 3, pp. 173-178. DOI <http://dx.doi.org/10.1080/00690805.1982.10438194>.
- BARBER, P. y BOARD, C. 1993. *Tales from the Map Room: Facts and Fiction About Maps and Their Makers*. London: BBC Books (First Edition). ISBN 978-0563367840.
- BAYER, T., POTUCKOVÁ, M. y CÁBELKA, M. 2010. Cartometric Analysis of Old Maps on the Example of Vogt's Map. *Cartography in Central and Eastern Europe: Selected papers of the 1st ICA Symposium on Cartography for Central and Eastern Europe* [en línea]. Viena: Springer, pp. 509-524. Disponible en: http://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-642-03294-3_33.
- BEAUVAIS, L. 2000. *Charles Le Brun (1619-1690). Inventaire général des dessins, Ecole française, Musée du Louvre Cabinet des dessins Vol. I*. S.I.: Réunion des musées nationaux. ISBN 9782711837649.
- BEINEKE, D. 2001. *Verfahren zur Genauigkeitsanalyse für Altkarten* [en línea]. Neubiberg (München): Universität der Bundeswehr München. Disponible en: <http://www.unibw.de/ipk/karto/schriften/pubbeineke/buchwerke/index.html>.
- BEINEKE, D. 2007. Zur Bestimmung lokaler Abbildungsverzerrungen in Altkarten mit Hilfe der multiquadratischen Interpolationsmethode. *Allgemeine Vermessungsnachrichten*, vol. 114, no. 1, pp. 19-27.
- BERNHARD, J. 2005. What is the influence of a map's projection on the analysis of its distortions? *MapAnalyst The Map Historian's Tool for the Analysis of Old Maps* [en línea]. Disponible en: <http://mapanalyst.org/faq.html>.
- BESCHORNER, H. 1924. Matthias Öder und die Landvermessungen seiner Zeit in Deutschland. *Mitteilungen des Vereins für Erdkunde zu Dresden (band 3)*. S.I.: s.n., pp. 3-29.
- BIBLIOTHÈQUE NATIONALE DE FRANCE 2016. John Beaurain (1696-1771). *data.bnf.fr* [en línea]. Disponible en: http://data.bnf.fr/11234601/jean_de_beaurain/.
- BITELLI, G., CREMONINI, S. y GATTA, G. 2014. Cartographic heritage: Toward unconventional methods for quantitative analysis of pre-geodetic maps. *Journal of Cultural Heritage* [en línea], vol. 15, no. 2, pp. 183-195. ISSN 12962074. DOI 10.1016/j.culher.2013.04.003. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.culher.2013.04.003>.
- BITELLI, G. y GATTA, G. 2012. Georeferencing of an XVIII century technical map of Bologna (Italy). *e-Perimtron*, vol. 7, no. 4, pp. 195-204.
- BLAKEMORE, M.J. y HARLEY, J.B. 1976. The Search For Accuracy. *Cartographica*, vol. 17, no. 4, pp. 54-75. DOI <http://dx.doi.org/10.3138/2232-8453-10H8-4750>.
- BLAKEMORE, M.J. y HARLEY, J.B. 1980. Concepts in the history of cartography: A review and perspective. *Cartographica*, vol. 17, no. 4, pp. 1-120.
- BOLOIX CARLOS-ROCA, R.C. 2002. El Real Instituto y Observatorio de la Armada. *Arbor*, vol. CLXXIII, no. 682, pp. 349-364.
- BONET-CORREA, A. 1991. *Cartografía Militar de Plazas Fuertes y Ciudades Españolas. Siglos XVII-XIX. Planos del Archivo Militar Francés*. Madrid: Ministerio de Cultura, Dirección Gral. de Bellas Artes y Archivos. Instituto de Conservación y Restauración de Bienes Culturales. ISBN 9788474837940.
- BÖNISCH, F. 1967. The Geometrical Accuracy of Sixteenth and Seventeenth Century Topographical Surveys. *Imago Mundi*, vol. 21, no. 1, pp. 62-69. DOI 10.1080/03085696708592300.
- BOURDON, M. 1843. *Elementos de Aritmética (traducción de la 19ª edición francesa por Calisto Fernández Formentany)*. Madrid: Librería de los señores Viuda e Hijos de Calleja.
- BOUTOURA, C. y LIVIERATOS, E. 2004. Fitting ottimali numerici delle rappresentazioni cartografiche storiche. Un'applicazione alle Isole Ionie. En: E. LIVIERATOS, E. BERIATOS, C. BALLETTI y M. SCARSO (eds.), *L'Eptaneso nelle corte, da Tolomeo oi*

FUENTES DE INFORMACIÓN

- satelliti*, vol. 2. Padua: Poligrafo, pp. 181-190.
- BOWER, D. 2009. The Accuracy of Robert Saxton's Survey and Map of Manningham, dated 1613. *The Cartographic Journal*, vol. 46, no. 2, pp. 115-125. ISSN 00087041. DOI 10.1179/000870409X459833.
- BREED, C.B. 1974. *Topografía*. Bilbao: Urmo de Ediciones. ISBN 8431400854.
- BRETTERBAUER, K. 1993. Zur Genauigkeitsbeurteilung alter Karten. *Cartographica Helvetica*, vol. 8, pp. 47-49.
- BROWN, M.S. y SEALES, W.B. 2001. Document Restoration Using 3D Shape: A General Deskewing Algorithm for Arbitrarily Warped Documents. *Proceedings Eighth IEEE International Conference on Computer Vision ICCV 2001 (Vol. 2)*. S.I.: s.n.,
- BRUNSDON, C., FOTHERINGHAM, A.S. y CHARLTON, M.E. 1996. Geographically weighted regression: a method for exploring spatial nonstationarity. *Geographical Analysis*, vol. 28, no. 4, pp. 281-298.
- BUISSERET, D. 1998. Modeling Cities in Early Modern Europe. En: D. BUISSERET (ed.), *Envisioning the City. Six studies in urban cartography*. S.I.: University of Chicago Press, pp. 196.
- BUSTOS-RODRÍGUEZ, M. 2008. La topografía urbana del Cádiz moderno y su evolución. *Revista Atlántica-Mediterránea de Prehistoria y Arqueología Social*, vol. 10, pp. 413-444.
- CAJTHAML, J. 2011. Methods of georeferencing old maps on the example of Czech early maps. En: A. RUAS (ed.), *Proceedings of the 25th International Cartographic Conference*. Paris, France: s.n., pp. CO-314.
- CAJTHAML, J. y PACINA, J. 2015. Old maps as a source of landscape changes - georeferencing, accuracy and error detection. *15th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2015*. S.I.: STEF92 Technology, pp. 1003-1010.
- CALATRAVA-ESCOBAR, J., CORTÉS-JOSÉ, J., GONZÁLEZ-GONZÁLEZ, F.J., LÍTER-MAYAYO, C., MARTÍN-MERÁS, L., OLMEDO-GRANADOS, F., RUIZ-MORALES, M. y VALENCIA-RODRÍGUEZ, R. 2011. *Andalucía, la imagen cartográfica hasta fines del siglo XIX*. Sevilla: Consejería de Vivienda y Ordenación del Territorio, Junta de Andalucía. ISBN 978-84-7595-237-6.
- CALAVIA, M. 1868. *Reflexiones acerca de la Gloriosa Revolución de Setiembre de 1868* [en línea]. Madrid: Carlos Bailly-Bailliere. Disponible en: https://books.google.es/books?id=35sJmUF87EC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false.
- CALDERÓN-QUIJANO, J.A. 1987. Ciudades costeras españolas e hispanoamericanas. *VII Jornadas de Andalucía y América* [en línea]. Sevilla: Escuela de Estudios Hispano-Americanos de Sevilla, pp. 11-19. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10334/556>.
- CALDERÓN-QUIJANO, J.A., FERNÁNDEZ-CANO, V., HERNÁNDEZ-PALOMO, J.J. y SARABIA-VIEJO, M.J. 1978. *Cartografía Militar y Marítima de Cádiz (Tomo I y II)*. Sevilla: Escuela de Estudios Hispano-Americanos de Sevilla. C.S.I.C. ISBN 84-00-04306-5.
- CÁMARA-MUÑOZ, A. 1988. Tiburzio Spannocchi, ingeniero mayor de los reinos de España. *Revista de la Facultad de Geografía e Historia*, no. 2, pp. 77-90.
- CÁMARA-MUÑOZ, A. 1991. El dibujo en la ingeniería militar del siglo XVI. *A distancia. Revista de la UNED*, vol. octubre, no. 2, pp. 24-30.
- CANO-RÉVORA, M.G. 1994. *Cádiz y el Real Cúrepo de Ingenieros Militares (1697-1845)*. Cádiz: Servicio de Publicaciones de la Universidad de Cádiz. ISBN 978-84-7786-146-1.
- CANO-RÉVORA, M.G. y TORREJÓN-CHAVES, J. 1993. La ciudad de Cádiz y su acceso terrestre: aspectos financieros de la obra del Arrecife (1759-1792). *Cuadernos de Ilustración y Romanticismo*, no. 3, pp. 43-55.
- CANO-RÉVORA, M.G. y TORREJÓN-CHAVES, J. 1993. La ciudad de Cádiz y su acceso terrestre: aspectos financieros de la obra del Arrecife (1759-1792). *Cuadernos de Ilustración y Romanticismo*, no. 3, pp. 43-55.
- CAPDEVILA-SUBIRANA, J. 2012. Del arte a la geometría. Cartografía militar de los siglos XVII y XVIII en Cataluña. [en línea]. S.I.: Disponible en: https://www.academia.edu/4770170/Del_arte_a_la_geometria._Cartografia_militar_de_los_siglos_XVII_y_XVIII_en_Catalu%C3%B1a.
- CAPEL-SÁEZ, H., GARCÍA-LANCETA, L., MONCADA-MAYA, J.O., OLIVÉ-OLLE, F., QUESADA-CASAJUANA, S., RODRÍGUEZ-

- BAIXERAS, A., SÁNCHEZ-PÉREZ, J.E. y TELLO-ROBIRA, R. 1983. *Los Ingenieros militares en España, siglo XVIII: repertorio biográfico e inventario de su labor científica y espacial*. Barcelona: Universitat de Barcelona. ISBN 9788475281179.
- CARR, A.P. 1962. Cartographic Record and Historical Accuracy. *Journal of the Geographical Association*, vol. 47, no. 2, pp. 135-146.
- CARRILLO DE ALBORNOZ Y GALBEÑO, J. 2012. La edad de oro de la fortificación abaluartada en España y Ultramar. *Revista de historia militar*, vol. Los ingeni, no. Extraordinario, pp. 33-98.
- CARRILLO DE ALBORNOZ Y GALBEÑO, J. 2014. Valor, Ciencia y Arte en el Cuerpo de Ingenieros. *Real y Militar Orden de San Fernando* [en línea]. Disponible en: <http://www.rmo.mde.es/Galerias/ordensfern/historia/ficheros/15.pdf>.
- ČECHUROVÁ, M. y VEVERKA, B. 2009. Cartometric analysis of the Czechoslovak version of 1:75 000 scale sheets of the Third Military Survey (1918–1956). *Acta Geodaetica et Geophysica Hungarica*, vol. 44, no. 1, pp. 121-130. ISSN 1217-8977. DOI 10.1556/AGeod.44.2009.1.12.
- CERRO-NARGÁNEZ, R. 1998. José Carrillo de Albornoz y Montiel, conde de Montemar: un militar andaluz entre Cataluña e Italia (1694-1725). *Pedralbes: Revista d'història moderna*, vol. 18, no. 2, pp. 531-538.
- CHÍAS-NAVARRO, P. y ABAD-BALBOA, T. 2011. *El Patrimonio fortificado. Cádiz y el Caribe: una relación transatlántica*. Madrid: Universidad de Alcalá. Servicio de Publicaciones. ISBN 978-8481389425.
- CIRICI-NARVÁEZ, J.R. 2010. Epílogo: Las torres-miradores gaditanas durante el siglo XIX. *Laboratorio de Arte*, vol. 22, pp. 317-338.
- COLOMAR-ALBÁJAR, M.A. 2011. El tratamiento catalográfico diferenciado que recibe el mapa en los archivos. *Revista PH (Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico)*, vol. 19, no. 77, pp. 26-28.
- CORPAS-LATORRE, R. y OLMEDO-GRANADOS, F. 2009. *Andalucía la imagen cartográfica. De la antigüedad a nuestros días [catálogo de la exposición]*. Sevilla: Consejería de Presidencia y Consejería de Vivienda y Ordenación del Territorio. ISBN 978-84-613-4033-0.
- CORTÉS-JOSÉ, J. 1998. La cartografía histórica. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, no. 26, pp. 41-54.
- CORTÉS-JOSÉ, J., GARCÍA-JAÉN, M.J. y ZOIDO-NARANJO, F. 1992. *Planos de Sevilla. Colección Histórica (1771-1918)*. Sevilla: Servicio de Publicaciones del Ayuntamiento de Sevilla. ISBN 9788486526078.
- CRONE, D.R. 1953. The accuracy of topographical maps. *Survey Review*, vol. 12, no. 88, pp. 64-70.
- CUESTA-AGUILAR, M.J. y MOYA-GARCÍA, E. 2012. La representación de la ciudad en el Siglo de Oro. La vista de Jaén de Antón Van Den Wyngaerde. *Biblio 3W. Revista bibliográfica de Geografía y Ciencias Sociales* [en línea], vol. XVII, no. 965, pp. online. Disponible en: <http://www.ub.edu/geocrit/b3w-965.htm>.
- D'ORGEIX, E. 2016. L'ingénieur, les académies royales et le dessin des cartes et plans en France (XVIIe-XVIIIe siècles). En: A. CÁMARA MUÑOZ (ed.), *El dibujante ingeniero al servicio de la monarquía hispánica. Siglos XVI-XVIII* [en línea]. S.l.: Fundación Juanelo Turriano, pp. 315-330. ISBN 978-84-942695-6-1. Disponible en: <http://www.juaneloturriano.com/noticias/2016/05/04/el-dibujante-ingeniero-al-servicio-de-la-monarquia-hispanica.-siglos-xvi-xviii.-nueva-publicacion>.
- DE ABREU, P. 1866. *Historia del saqueo de Cádiz por los ingleses en 1596*. S.l.: Ayuntamiento de Cádiz (Revista Médica).
- DE BORBÓN Y BORBÓN-DOS SICILIAS, M.I.L. 1852. Real Orden de 9 de diciembre de 1852, por la que se determinan las tablas de correspondencia recíproca entre las pesas y medidas métricas y las actualmente en uso (Medidas y pesas legales de Castilla.). *Gaceta de Madrid* [en línea], pp. 643-656. Disponible en: <http://www.cem.es/sites/default/files/00000458recurso.pdf>.
- DE CADENAS Y VICENT, V. 1977. *Caballeros de la Orden de Santiago. Siglo XVIII, Tomo II*. Madrid: s.n. ISBN 9788400037208.
- DE DAINVILLE, F. 1970. De la Profondeur à l'Atitude. En: *International Yearbook of Cartography*, 2 (p.150-160). Translated by A. H. Robinson as «From Depths to the Heights». *Surveying and Mapping*, vol. 30, pp. 389-403.
- DE LA TORRE-ECHÁVARRI, J.I. 2014. Del secreto de Estado a la didáctica militar. La fabricación y el coleccionismo de modelos y maquetas militares en España. En: M.I. (coord. . HERRÁEZ

FUENTES DE INFORMACIÓN

- MARTÍN (ed.), *Modelos y maquetas: la vida a escala* [en línea]. Secretaría. Madrid: Ministerio de Educación, Cultura y Deporte del Gobierno de España, pp. 245. Disponible en: <https://sede.educacion.gob.es/publiventa/detalle.action?cod=20075C>.
- DE LARA, D.M.. 1869. *El cronista de la revolución española de 1868: narración fiel de todos los sucesos que componen el glorioso movimiento, con todos los documentos oficiales que se han publicado durante su curso hasta la constitución del gobierno provisional* [en línea]. Barcelona: Librería de Verdaguer. Disponible en: https://books.google.es/books?id=Ou0CAAAAYAAJ&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false.
- DE ROJAS, C. 1598. *Teoría y práctica de Fortificación, conforme las medidas y defensas destos tiempos repartidas en tres partes* [en línea]. S.l.: s.n. Disponible en: <http://fondosdigitales.us.es/fondos/libros/708/9/teorica-y-practica-de-fortificacion-conforme-las-medidas-y-defensas-destos-tiempos/>.
- DIAZ, G. y SEED, P. 2005. Electronic restoration: Eliminating the ravages of time on historical maps. *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*, vol. 3815 LNCS, pp. 100-108. ISSN 03029743. DOI 10.1007/11599517_12.
- DICTIONNAIRE.ME 2016. Définition Chez. *Dictionnaire.me* [en línea]. Disponible en: <http://www.dictionnaire.me/chez-5425.html>.
- EGERER, A. 1934. Zwei topographische Spezialkarten aus der Zeit des Dreissigjährigen Krieges. *Mitt. d. Reichsamts f. Landesaufnahme*, no. 10, pp. 150-160.
- FERLEY, P. 1999. Article Surveyor General of Lower Canada 1804 to 1841. *Urban History Review*, vol. 27, no. 2, pp. 3-24. DOI 10.7202/1016579ar.
- FERNÁNDEZ-CANO, V. 1973. *Las defensas de Cádiz en la Edad Moderna*. Sevilla: Escuela de Estudios Hispano-Americanos de Sevilla. ISBN 84.00.03942.4.
- FERNÁNDEZ-WYTTENBACH, A. y BERNABÉ-POVEDA, M.Á. 2011. La cartoteca virtual: salvaguardia y accesibilidad al patrimonio documental cartográfico. *Revista PH (Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico)*, no. 77, pp. 132-138.
- FERRANDIS-POBLACIONES, J.A. 2012. Los ingenieros militares en el siglo XIX. *Revista de Historia Militar*, vol. LVI, no. Extraordinario., pp. 99-136.
- FIORINI, M. 1881. *Le proiezioni delle carte geografiche: testo*. Bologna: Zanichelli.
- FLEET, C. 2007. Lewis Petit and his Plans of Scottish Fortifications and Towns, 1714–16. *The Cartographic Journal*, vol. 44, no. 4, pp. 329-341. ISSN 00087041. DOI 10.1179/000870407X241890.
- FORSTNER, G. y OEHRLE, M. 1998. Graphische Darstellungen der Untersuchungsergebnisse alter Karten und die Entwicklung der Verzerrungsgitter. *Cartographica Helvetica*, vol. 17, pp. 35-43.
- FOTHERINGHAM, A.S., BRUNSDON, C. y CHARLTON, M. 2002. *Geographically weighted regression: The analysis of spatially varying relationships*. Chichester, West Sussex, England: Wiley. ISBN 978-0-471-49616-8.
- FRAJER, J. y GELETIČ, J. 2011. Research of historical landscape by using old maps with focus to its positional accuracy. *Dela*, no. 36, pp. 49-67.
- FRENTZEL, H. 1963. Die ältesten kleinmasstäblichen Karten des nordöstlichen Eichsfeldes. *Forschung und Fortschritte*, vol. 37, pp. 6-9.
- GALCERÁN-VILA, M. 2013. La figura del ingeniero militar. *Jornadas Internacionales sobre la intervención en el Patrimonio Arquitectónico. «Actas del XXXIV Curset. Jornadas Internacionales sobre la intervención en el Patrimonio Arquitectónico: Fortificaciones: intervenciones en el patrimonio defensivo»* [en línea]. Barcelona y Tortosa: Ministerio de Educación, Política Social y Deporte. Subdirección General de Información y Publicaciones, pp. 211-217. Disponible en: <https://sede.educacion.gob.es/publiventa/detalle.action?cod=14292C>.
- GÁMIZ-GORDO, A. 2011. Vistas de ciudades andaluzas hasta mediados del siglo XIX. *Revista PH. Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico* [en línea], vol. 77, pp. 74-79. ISSN 1136-1867. Disponible en: <http://www.iaph.es/revistaph/index.php/revistaph/article/view/3103>.

- GARCÍA-BAQUERO-GONZÁLEZ, A. 1972. *Comercio colonial y guerras revolucionarias: La decadencia económica de Cádiz a raíz de la emancipación americana*. Sevilla: Escuela de Estudios Hispano-Americanos, Consejo Superior de Investigaciones Científicas.
- GARCÍA-BAQUERO GONZÁLEZ, A. 1990. *Cádiz 1753: según las Respuestas Generales del Catastro de Ensenada*. Volumen 14. Madrid: Tabapress-Grupo Tabacalera. ISBN 9788486938345.
- GARCÍA-ORTEGA, A.J. y GÁMIZ-GORDO, A. 2010. La ciudad de Córdoba en su primer plano: un dibujo esquemático de 1752. *Archivo Español de Arte*, vol. 83, no. 329, pp. 23-40. ISSN 00040428.
- GAREAU, M. y BEAUVAIS, L. 1992. *Charles Le Brun, first painter to King Louis XIV*. S.I.: H.N. Abrams, New York. ISBN 9780810935679.
- GASSER, M. 1907. Zur Technik der Apianschen Karte von Bayern. *Verhdlg. d. 16. Deutschen Geographentages zu Nürnberg, 1907, Berlin*. S.I.: s.n., pp. 10-123.
- GENTIL-BALDRICH, J.M. 1998. *Método y aplicación de representación acotada*. Madrid: Bellisco. ISBN 978-8493000202.
- GIORDANO, A. y NOLAN, T. 2007. Civil War Maps of the Battle of Stones River: History and the Modern Landscape. *The Cartographic Journal*, vol. 44, no. 1, pp. 55-70. ISSN 00087041. DOI 10.1179/000870407X173850.
- GONZÁLEZ-TASCÓN, I. 1992. *Ingeniería española en ultramar (siglos XVI-XIX). Vol I y II*. Madrid: CEHOPU, CEDEX, MOPT, Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. ISBN 84-7952-072-8.
- GRANADO-CASTRO, G. 2012. *El Cádiz de la Ilustración. Técnica cartográfica y sociedad a través del Bajorrelieve de Alfonso Ximénez*. Sevilla: Universidad de Sevilla.
- GRANADO-CASTRO, G., BARRERA-VERA, J.A. y AGUILAR-CAMACHO, J. 2016a. La maqueta de Cádiz de 1779. Utilidad militar o metáfora de poder. *Proyecto, Progreso y Arquitectura*, vol. Noviembre, no. 15, pp. 16-28. DOI <http://dx.doi.org/10.12795/ppa.2016.i15.01>.
- GRANADO-CASTRO, G., BARRERA-VERA, J.A. y AGUILAR-CAMACHO, J. 2016b. «Las Puertas de Tierra» as a paradigm of fortification systems in Cadiz during the Modern Age: an approach through historical mapping and panoramic drawings. En: G. VERDIANI (ed.), *FORTMED, Proceedings of the International Conference on Modern Age Fortifications of the Mediterranean Coast (Vol. III)*. Firenze: Didapress,
- GRANADO-CASTRO, G. y MARTÍN-PASTOR, A. 2016a. An Unsuccessful Spanish Cartographical Project of the Eighteenth Century: New Data on the Plan-Relief Ministry of Charles III. *Imago Mundi*, vol. 68, no. 2, pp. 183-195. DOI 10.1080/03085694.2016.1171486.
- GRANADO-CASTRO, G. y MARTÍN-PASTOR, A. 2016b. The 3d Model-Map of Cadiz (1779): A Unique Project of Cartography in Modern Spain. *The Cartographic Journal*, vol. 53, no. 3, pp. 268-281. DOI <http://dx.doi.org/10.1080/00087041.2016.1149263>.
- GREGORY, I.N., BENNETT, C., GILHAM, V.L. y SOUTHALL, H.R. 2002. The Great Britain Historical GIS Project: From Maps to Changing Human Geography. *The Cartographic Journal*, vol. 39, no. 1, pp. 37-49.
- GUERRA, F., BALLETTI, C., MONTI, C., LIVIERATOS, E. y BOUTOURA, C. 1999. Informatica e infografica per lo studio della veduta prospettica di Venezia. En: G. ROMANELLI, S. BIADENE y C. TONINI (eds.), *A volo d'uccello. Jacopo de' Barbari e le rappresentazioni di città nell'Europa del Rinascimento*. Venezia: Arsenale Editrice, pp. 93-100.
- GUIDONI, E. y MARINO, Á. 1982. *El siglo XVII: Historia del Urbanismo*. Madrid: s.n. ISBN 9788470882937.
- HAKLAY, M. 2010. How Good is Volunteered Geographical Information? A Comparative Study of OpenStreetMap and Ordnance Survey Datasets. *Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science*, vol. 37, no. 4, pp. 682-703.
- HARDY, R.L. 1971. Multiquadric equations of topography and other irregular surfaces. *Journal of Geophysical Research*, vol. 76, no. 8, pp. 1905-1915.
- HARDY, R.L. 1990. Theory and applications of the multiquadric-biharmonic method 20 years of discovery 1968-1988. *Computers & Mathematics with Applications*, vol. 19, no. 8-9, pp. 163-208.
- HARLEY, J.B. 1967. Uncultivated fields in the history of British cartography. *The Cartographic Journal*, vol. 4, no. 1, pp. 7-10.

FUENTES DE INFORMACIÓN

- HARLEY, J.B. 1968. The evaluation of early maps: towards a methodology. *Imago Mundi*, vol. 22, no. 1968, pp. 62-74.
- HAVLICEK, J. y CAJTHAML, J. 2014. The influence of the distribution of ground control points on georeferencing. *14th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2014*. S.I.: STEF92 Technology, pp. 965-972.
- HAVLICEK, J. y CAJTHAML, J. 2015. Identification of a wrongly assigned ground control point. *15th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2015*. S.I.: STEF92 Technology, pp. 936-946.
- HERMOSÍN-MIRANDA, R. 2011. Características de los distintos soportes sobre los que se reproducen planos y esferas. *Revista PH (Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico)*, vol. 77, no. Monográfico, pp. 47-53.
- HERVA, V.-P. y YLIMAUNU, T. 2010. What's on the Map?: re-assessing the first urban map of Torneå and early map-making in Sweden. *Scandinavian Journal of History*, vol. 35, no. 1, pp. 86-107. ISSN 0346-8755. DOI 10.1080/03468750903381613.
- HEUVEL, C. van den 2004. Como contar la verdad de los mapas digitales de ciudades: Ciudades de papel y ciudades virtuales, anotando y visualizando contextos históricos. *Scripta Nova* [en línea], vol. VIII, no. 170 (66), pp. online. Disponible en: <http://www.ub.edu/geocrit/sn/sn-170-66.htm>.
- HOOKE, J. y PERRY, R.A. 1976a. The Planimetric Accuracy of Tithe Maps. *The Cartographic Journal*, vol. 13, no. 2, pp. 177-183. DOI <http://dx.doi.org/10.1179/00087041.13.2.p177>.
- HOOKE, J. y PERRY, R.A. 1976b. The Planimetric Accuracy of Tithe Maps. *The Cartographic Journal*, vol. 13, no. 2, pp. 177-183. ISSN 17432774. DOI <http://dx.doi.org/10.1179/00087041.13.2.p177>.
- HOOKE, J. y PERRY, R.A. 1976c. The Planimetric Accuracy of Tithe Maps. *The Cartographic Journal*, vol. 13, no. 2, pp. 177-183.
- HU, B. 2001. Assessing the Accuracy of The Map of the Prefectural Capital of 1261 Using Geographic Information Systems. *Professional Geographer*, vol. 53, no. 1, pp. 32-44. ISSN 0959-3543. DOI 10.1177/0959354393031005.
- HU, B. 2010a. Application of geographic information systems(GIS) in the History of Cartography. *World Academy of Science, Engineering and Technology. International Journal of Environmental, Chemical, Ecological, Geological and Geophysical Engineering*, vol. 4, no. 6, pp. 160-163.
- HU, B. 2010b. Application of geographic information systems (GIS) in the history of cartography. *International Journal of Environmental, Chemical, Ecological, Geological and Geophysical Engineering*, vol. 42, no. 6, pp. 185-189.
- HUNT, J. y SMITH, R. 1985. Nineteenth century maps: some cartographical problems and solutions. *The Cartographic Journal*, vol. 22, no. 1, pp. 50-53. ISSN 00087041. DOI 10.1179/000870485787313072.
- IMHOF, E. 1939. Die älteste gedruckte Karte der Schweiz : einige Begleitworte zu ihrer Neuherausgabe. *Mitteilungen der Geographisch-Ethnographischen Gesellschaft Zürich 1938/39, Band 39 (Früher «Jahresberichte») Festschrift zur Feier ihres 50jährigen Bestehens*. S.I.: s.n., pp. 51-74.
- IMHOF, E. 1964. Beiträge zur Geschichte der topographischen Kartographie. *Internationales Jahrbuch für Kartographie. Band IV*. Gütersloh,. Gütersloh und Zürich: C. Bertelsmann Verlag, pp. 129-153.
- IMHOF, E. 1965. *Kartographische Gelände-Darstellung*. Berlin: Walter de Gruyter & Co.
- INSTITUTO ANDALUZ DEL PATRIMONIO HISTÓRICO 2016. Iglesia del Antiguo Convento de Nuestra Señora del Carmen y Santa Teresa. *Patrimonio Inmueble de Andalucía* [en línea]. [Consulta: 18 septiembre 2016]. Disponible en: <http://www.iaph.es/patrimonio-inmueble-andalucia/resumen.do?id=i1430>.
- INSTITUTO DE CARTOGRAFÍA DE ANDALUCÍA 1996. *Catálogo de cartografía histórica: Provincia de Cádiz (Vol. I y II)*. S.I.: Junta de Andalucía. Consejería de Obras Públicas y Transportes. ISBN 84-8095-074-9.
- JAKOBSSON, A. y VAUGLIN, F. 2002. Report of a questionnaire on data quality in National Mapping Agencies. *CERCO Working Group on Quality. Comité Européen des Responsables de Cartographie Officielle. Marne-la-Vallée*. S.I.: s.n.,
- JENNY, B. y HURNI, L. 2011. Studying cartographic heritage: Analysis and visualization of geometric distortions. *Computers and Graphics* [en línea], vol. 35, no. 2, pp. 402-411. ISSN 00978493. DOI 10.1016/j.cag.2011.01.005. Disponible en:

<http://dx.doi.org/10.1016/j.cag.2011.01.005>.

JENNY, B., WEBER, A. y HURNI, L. 2007. Visualizing the Planimetric Accuracy of Historical Maps with MapAnalyst. *Cartographica: The International Journal for Geographic Information and Geovisualization*, vol. 42, no. 1, pp. 89-94. ISSN 0317-7173. DOI 10.3138/cartov42-1-089.

JOBST, M., GARTNER, G. y DÖLLNER, J. 2009. Neo-Cartographic Technologies: A Starting Dilemma for the History of Modern Maps. En: G. GARTNER y F. ORTAG (eds.), *Electronic Proceedings of the First ICA Symposium on Cartography for Central and Eastern Europe 2009*. Wien: s.n., pp. 739-745.

JONGEPIER, I., SOENS, T., TEMMERMAN, S. y MISSIAEN, T. 2016. Assessing the Planimetric Accuracy of Historical Maps (Sixteenth to Nineteenth Centuries): New Methods and Potential for Coastal Landscape Reconstruction. *The Cartographic Journal*, vol. 53, no. 2, pp. 114-132.

KAGAN, R.L. 1986. *Ciudades del Siglo de Oro: Las vistas españolas de Anton Van Den Wyngaerde*. Madrid: Editorial El Viso. ISBN 84-86022-24-X.

KISHIMOTO, H. 1968. *Cartometric measurements* [en línea]. Zurich: Geographisches Institut der Universität Zurich. [Consulta: 6 octubre 2015]. Disponible en: https://books.google.es/books/about/Cartometric_measurements.html?id=fzsTAQAIAAJ&pgis=1.

KREJČÍ, J. 2009. Methods for georeferencing early maps. *Bulletin of the Society of Cartographers*, vol. 43, no. 1-2, pp. 45-48.

KREJČÍ, J. y CAJTHAML, J. 2009. Müller's maps of the Czech lands and their analysis. *Acta Geodaetica et Geophysica Hungarica*, vol. 44, no. 1, pp. 27-38. ISSN 1217-8977. DOI 10.1556/AGeod.44.2009.1.4.

LAXTON, P. 1976. The Geodetic and Topographical Evaluation of English County Maps, 1740-1840. *The Cartographic Journal*, vol. 13, no. 1, pp. 37-54.

LELEWEL, J. 1852. *Géographie du Moyen Age. Accompagnée d'atlas et de cartes dans chaque volume. Tome II* [en línea]. Bruxelles: Chez Ve et J. Pilliet, 1850-1857. Disponible en: <https://babel.hathitrust.org/cgi/pt?id=uc1.b5047505;view=1up;seq=11>.

LELO, K. y TRAVAGLINI, C.M. 2013. Historical cartography and

the study of urban cultural heritage: the case of Rome in the 18th century. *e-Perimetron*, vol. 8, no. 4, pp. 178-186.

LINDSAY, J.M. 1980. The Assessment of Transient Patterns on Historic Maps — A Case Study. *The Cartographic Journal*, vol. 17, no. 1, pp. 16-20. DOI <http://dx.doi.org/10.1179/caj.1980.17.1.16>.

LÍTER-MAYAYO, C. 2011. El tratamiento catalográfico de los mapas en las bibliotecas. *Revista PH (Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico)*, vol. 19, no. 77, pp. 24-25.

LIVIERATOS, E. 2006. On the Study of the Geometric Properties of Historical Cartographic Representations. *Cartographica: The International Journal for Geographic Information and Geovisualization*, vol. 41, no. 2, pp. 165-176. ISSN 0317-7173. DOI 10.3138/RM86-3872-8942-61P4.

LIVIERATOS, E. y KOUSSOULAKOU, A. 2006. Vermeer's maps: a new digital look in an old master's mirror. *e-Perimetron* [en línea], vol. 2, no. 2, pp. 138-154. Disponible en: http://www.e-perimetron.org/Vol_1_2/Livieratos_Kousoulakou/Livieratos_Kousoulakou.pdf%5Cnpapers3://publication/uuid/7CD6EE5A-9C66-40AA-B61F-5A3C84C479D4.

LLOYD, C.D. 2006. *Local Models for Spatial Analysis*. Boca Raton, London, New York: CRC Press, Taylor & Francis Group. ISBN 978-0-415-31681-1.

LLOYD, C.D. y LILLEY, K.D. 2009. Cartographic Veracity in Medieval Mapping: Analyzing Geographical Variation in the Gough Map of Great Britain. *Annals of the Association of American Geographers*, vol. 99, no. 1, pp. 27-48. ISSN 0004-5608. DOI 10.1080/00045600802224638.

LLOYD, R. y GILMARTIN, P. 1987a. The South Carolina Coastline on Historical Maps: A Cartometric Analysis. *Cartographic Journal*, The, vol. 24, no. 1, pp. 19-26. ISSN 00087041. DOI 10.1179/000870487787352022.

LLOYD, R. y GILMARTIN, P. 1987b. The South Carolina Coastline on Historical Maps: A Cartometric Analysis. *The Cartographic Journal*, vol. 24, no. 1, pp. 19-26. DOI <http://dx.doi.org/10.1179/caj.1987.24.1.19>.

LONG, L.H. 1971. *The World Almanac and Book of Facts*. 1971. New York (USA): Newspaper Enterprise Association.

MALING, D.H. 1968. How long is a Piece of String? *The*

FUENTES DE INFORMACIÓN

- Cartographic Journal* [en línea], vol. 5, no. 2, pp. 147-156. ISSN 2167-8359. Disponible en: <http://www.pubmedcentral.nih.gov/articlerender.fcgi?artid=3628373&tool=pmcentrez&rendertype=abstract>.
- MALING, D.H. 1975. Cartometry - The Neglected Discipline? *British Association Conference*. S.l.: s.n., pp. 229-246.
- MALING, D.H. 1977. Cartometry-the Neglected Discipline? En: I. KRETSCHMER (ed.), *Beiträge zur theoretischen Kartographie (Studies in theoretical cartography)*. Wien (Vienna): Franz Deuticke, pp. 229-246.
- MANESSON-MALLET, A. 1684. *Les Travaux de Mars, ou l'Art de la guerre. Tome I* [en línea]. S.l.: D. Thierry (Paris). Disponible en: <http://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k1043125c/f258.image>.
- MANZANO-AGUGLIARO, F., FERNÁNDEZ-SÁNCHEZ, J.S. y SAN-ANTONIO-GÓMEZ, C. 2013. GIS for cartographic accuracy analysis of settlements in the province of Madrid (AGE Tomas Lopez 1804). *Congress INGEGRAF-ADM-AIP PRIMECA* [en línea]. Madrid (Spain): s.n., pp. on-line. Disponible en: http://oa.upm.es/26469/1/INVE_MEM_2013_163997.pdf.
- MARCEL, P. 1909. *Charles Le Brun*. S.l.: s.n.
- MARGARY, H. 1977. A Proposed photographic method of assessing the accuracy of old maps. *Journal Imago Mundi*, vol. 29, no. 1, pp. 78-79.
- MARIÁTEGUI, E. de 1985. *El Capitán Cristóbal de Rojas, ingeniero militar del siglo XVI*. MOPU, Serv. Madrid: Centro de Estudios Históricos de Obras Públicas y Urbanismo (CEHOPU). ISBN 84-7433-348-2.
- MARSILLI, L.F. 1725. *Histoire physique de la mer* [en línea]. Amsterdam: s.n. Disponible en: https://archive.org/stream/bub_gb_LtpjVDmNC84C#page/n3/mode/2up.
- MARTÍNEZ-LÓPEZ, R. 2000. *Un mar para la historia de Cádiz: Cartografía y Estampas de la Biblioteca de D. Federico Joly Höhr (S. XVI --- S. XIX)*. Cádiz: Exco. Ayuntamiento de Cádiz. ISBN 9788489736122.
- MARTÍNEZ-MONTIEL, L.F. 2002. Algunos apuntes sobre Cartografía militar. *Revista PH (Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico)*, vol. 40-41, pp. 197-203.
- MEKENKAMP, P.G.M. 1989. Geometric cartography: The accuracy of old maps. En: P. van den BRINK, M. HAMELEERS y P. van der KROGT (eds.), *XIIIth International Conference on the History of Cartography: Abstracts*. Amsterdam and The Hague: s.n., pp. 87-89.
- MESENBURG, P. 1987. Rechnergestützte Analyse zum kartographischen und geodätischen Informationsgehalt von Portolankarten. En: W.S. und I. KRETSCHMAR (ed.), *Kartographiehistorisches Colloquium, Wien 1986*. Berlin: Vorträge und Berichte, pp. 57-67.
- MESENBURG, P. 1988. Untersuchungen zur geometrischen Struktur und zur Genese der Portolankarte des Petrus Roselli aus dem Jahre 1449. En: W. SCHARFE, H. MUSALL y J. NEUMANN (eds.), *4 Kartographiehistorisches colloquium*. Karlsruhe, Berlin: Dietrich Reimer Verlag, pp. 31-38.
- MESENBURG, P. 1990. Untersuchungen zur kartometrischen Auswertung mittelalterlicher Portolane. *Kartographische Nachrichten*, vol. 1990, no. 1, pp. 9-18.
- MESENBURG, P. 1994. Germaniae Universalis - Die Genauigkeit der Darstellung Europas durch G. Mercator im Jahre 1585. En: KULTURDEZERNAT (ed.), *Gerhard Mercator, Europa und die Welt*. Duisburg: Stadt Duisburg, pp. 220-234. ISBN 9783892790433.
- MICHAUD, L.G. y MICHAUD, J.F. 1843. *Biographie universelle, ancienne et moderne ; ou, Histoire, par ordre alphabetique, de la vie publique et privée de tous les hommes qui se sont fait remarquer par leurs écrits, leurs actions, leurs talents, leurs vertus ou leurs crimes. édition, volume*. Paris, France: A. Thoissier Desplaces.
- MOLNÁR, G. 2010. Making a georeferenced mosaic of historical map series using constrained polynomial fit. *Acta Geodaetica et Geophysica Hungarica*, vol. 45, no. 1, pp. 24-30.
- MORATO-MORENO, M. 2016. Empirical Antecedents of Representation of Relief Features in Plan. The Case of Spanish American Cartography in the Sixteenth Century: Three Significant Examples. *The Cartographic Journal* [en línea], vol. 53, no. 1, pp. 66-77. DOI <http://dx.doi.org/10.1179/1743277414Y.0000000102>. Disponible en: <http://www.maneyonline.com/doi/abs/10.1179/1743277414Y.0000000102>.

- MORENO-TELLO, S. 2011. Las baterías defensivas de extramuros en Cádiz: historia y puesta en valor de un patrimonio olvidado. En: A. RAMOS SANTANA (ed.), *Invasión y Guerra en la provincia de Cádiz. Mayo 1808-Febrero 1810*. Cádiz: Oficina del Bicentenario 1810-1812. Diputación Provincial de Cádiz, pp. 83-95. ISBN 978-84-92717-08-8.
- MORENO-VERGARA, G. y CORTÉS-JOSÉ, J. 2011. La exactitud posicional de la cartografía histórica. *Revista PH (Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico)*, no. 77, pp. 62-65.
- MUÑOZ-CORBALÁN, J.M. 1992. La Real Junta de Fortificaciones de Barcelona. *Espacio, tiempo y forma. Seri VII, Historia del Arte* [en línea], vol. V, pp. 351-374. Disponible en: <http://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=152084>.
- MUÑOZ-CORBALÁN, J.M. 2016. Urgencias cartográficas militares en la España de la primera mitad del siglo XVIII. Ordenanza de ingenieros y Academia de Matemáticas. En: A. CÁMARA MUÑOZ (ed.), *El dibujante ingeniero al servicio de la monarquía hispánica. Siglos XVI-XVIII* [en línea]. S.I.: Fundación Juanelo Turriano, pp. 91-118. ISBN 978-84-942695-6-1. Disponible en: <http://www.juaneloturriano.com/noticias/2016/05/04/el-dibujante-ingeniero-al-servicio-de-la-monarquia-hispanica.-siglos-xvi-xviii.-nueva-publicacion>.
- MUÑOZ-COSME, A. 2016. Instrumentos, métodos de elaboración y sistemas de representación del proyecto de fortificación entre los siglos XVI y XVIII. En: A. CÁMARA MUÑOZ (ed.), *El dibujante ingeniero al servicio de la monarquía hispánica. Siglos XVI-XVIII* [en línea]. S.I.: Fundación Juanelo Turriano, pp. 17-44. ISBN 978-84-942695-6-1. Disponible en: <http://www.juaneloturriano.com/noticias/2016/05/04/el-dibujante-ingeniero-al-servicio-de-la-monarquia-hispanica.-siglos-xvi-xviii.-nueva-publicacion>.
- MURPHY, J. 1978. Measures of Map Accuracy Assessment and Some Early Ulster Maps. *Irish Geography*, vol. 11, no. 1, pp. 88-101.
- NADDEO, B.A. 2004. Topographies of Difference: Cartography of the City of Naples, 1627–1775. *Imago Mundi*, vol. 56, no. 1, pp. 23-47. ISSN 0308-5694. DOI 10.1080/0308569032000172932.
- NAVASCUÉS Y DE PALACIO, J. de 1996. *Cádiz a través de 1513 (Apuntes para su arquitectura y urbanismo desde el siglo XIII)*. Sevilla: Colegio Oficial de Arquitectos de Andalucía Occidental, demarcación de Cádiz. ISBN 9788488075314.
- NELL, D. 2009. *Methoden der Genauigkeitsanalyse historischer Karten: am Beispiel der Gradkartenblätter 1:25.000 Innsbruck und Lienz der Dritten Österreichischen Landesaufnahme*. Wien: Universität Wien.
- NIEDERÖST, J. 2005. *Das Relief der Urschweiz von Franz Ludwig Pfyffer (1716-1802): 3DRekonstruktion, Analyse und Interpretation*. [en línea]. Zürich: Eidgenössischen Technischen Hochschule, ETH Zürich. Disponible en: http://www.igp-data.ethz.ch/berichte/Blaue_Berichte_PDF/89.pdf.
- NIEŚCIORUK, K. 2006. *Metodyczne aspekty kartograficznej analizy i oceny dawnych planów miast na przykładzie planu Lublina z 1716 roku C. d'Örkena* [en línea]. Lublin: Uniwersytet Marii Curie-Skłodowskiej Wydział Biologii i Nauk o Ziemi. Disponible en: <https://translate.google.com/?hl=es#auto/es/UniwersytetMariiCurie-Skłodowskiej%0AWydziałBiologiiiNauk%0aZiemi>.
- NIEŚCIORUK, K. 2011. Analysis and evaluation of the XVIIIth century plan of Lublin as an example of a comprehensive approach in the research of early cartographic materials. *e-Perimetron*, vol. 6, no. 3, pp. 138-151.
- OLMEDO-GRANADOS, F. 2011a. El mapa antiguo al detalle. *Revista PH. Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico*, no. 77, pp. 89-89.
- OLMEDO-GRANADOS, F. 2011b. Evolución de las técnicas de reproducción de mapas. *Revista PH (Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico)*, vol. 77, no. Monográfico, pp. 20-23.
- OLMEDO-GRANADOS, F. 2013. *Cartografía de Cádiz. Puerto y ciudad (folleto de la exposición: «Andalucía, la imagen cartográfica. De la Antigüedad a nuestros días»)*. S.I.: Instituto de Estadística y Cartografía de Andalucía y Centro de Estudios Andaluces. Junta de Andalucía.
- ORTEGA-FELIU, P. y ALADRO-PRIETO, J.M. 2012. *Guía de las Fortificaciones y Sistemas de Defensa de la Bahía de Cádiz*. Cádiz: Consorcio para la Conmemoración del Bicentenario de la Constitución de 1812. Colegio Oficial de Arquitectos de Cádiz. ISBN 9788461562329.
- ORTEGA-VIDAL, J. 2000. Los planos históricos de Madrid y su fiabilidad topográfica. *Revista CT/Catastro*, no. 39, pp. 37-60.
- PASTOUREAU, M. 1993. Jacques-Nicolas Bellin, French Hydrographer, and The Royal Society in the Eighteenth century. *The Yale University Library Gazette*, vol. 68, no. 1/2, pp. 65-69.

FUENTES DE INFORMACIÓN

- PEARSON, B.C. 2005. Comparative accuracy in four civil war maps of the Shenandoah Valley: A GIS analysis. *Professional Geographer*, vol. 57, no. 3, pp. 376-394. ISSN 00330124. DOI 10.1111/j.0033-0124.2005.00485.x.
- PEINADO, C.S. 2012. Militares de España. Jose Carrillo de Albornoz, duque de Montemar. [en línea]. Disponible en: <http://cspeinado.blogspot.com.es/2012/09/militares-de-espana-jose-carrillo-de.html>.
- PERNAS-MAGALLANES, L.M. 2011. La Cartoteca del Centro Geográfico del Ejército: 200 años de la creación del Estado Mayor. *Revista PH (Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico)*, vol. Monográfico, no. 77, pp. 31-32.
- PHELIPE V, 1718. *Real Ordenanza e Instrucción de 4 de julio de 1718 para los Ingenieros, y otras personas, dividida en dos partes: En la primera se trata de la formación de Mapas, o Cartas Geográficas de Provincias, con observaciones y notas sobre los Rios que se pudieren* [en línea]. 1718. S.l.: s.n. Disponible en: http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:http://www.altorres.synology.me/documentos/ordenanza_1718.htm&gws_rd=cr&ei=fVcCWenSEMfaUc25sgg.
- PILU, M. 2001. Undoing paper curl distortion using applicable surfaces. *Proceedings of the 2001 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. CVPR 2001* [en línea]. S.l.: s.n., pp. 1-67-1-72. ISBN 0-7695-1272-0. Disponible en: <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=990457>.
- PIMENTEL-CINTRA, J. 2010. A primeira planta cartográfica da cidade de São Paulo. *Boletim de Ciências Geodésicas*, vol. 16, no. 2, pp. 332-346.
- PITA-GONZÁLEZ, M.S. 2012. La labor docente en centros civiles de los ingenieros militares, en la España del siglo XVIII. *Anales de Historia del Arte*, vol. 0, no. 0, pp. 413-420. ISSN 0214-6452. DOI 10.5209/rev_ANHA.2011.37472.
- PLEWE, B.S. 2003. Representing Datum-level Uncertainty in Historical GIS. *Cartography and Geographic Information Science*, vol. 30, no. 4, pp. 319-334. DOI <http://dx.doi.org/10.1559/152304003322606229>.
- PODOBNIKAR, T. 2009. Georeferencing and quality assessment of Josephine survey maps for the mountainous region in the Triglav National Park. *Acta Geodaetica et Geophysica Hungarica*, vol. 44, no. 1, pp. 49-66. ISSN 1217-8977. DOI 10.1556/AGeod.44.2009.1.6.
- PODOBNIKAR, T. 2010. Historical maps of Ljubljana for GIS applications. *Acta Geodaetica et Geophysica Hungarica*, vol. 45, no. 1, pp. 80-88. ISSN 1217-8977. DOI 10.1556/AGeod.45.2010.1.12.
- PRIETO-BARRIOS, A. 2016. *Los ingenieros militares. Historia ilustrada. Uniformidad y distintivos de zapadores, minadores, obreros, automóviles, transmisiones, pontoneros, aeroestación y ferrocarriles. Condecoraciones y recompensas* [en línea]. Madrid: s.n. Disponible en: <http://www.coleccionesmilitares.com/emblemas/ing/INGENIEROS.pdf>.
- QUERO-OLIVÁN, M. 2012. La comunicación naval tierra-mar. Los semáforos de Tarifa. *Al Qantir (número especial Actas I Jornadas de Historia de Tarifa)* [en línea], vol. 12, pp. 161-175. Disponible en: <http://s17809026.onlinehome-server.info/ojs-2.4.4-1/index.php/JHT/article/view/25/22>.
- QUIRÓS-LINARES, F. 1994. Las colecciones militares de modelos de ciudades españolas y el Real Gabinete Topográfico de Fernando VII: una aproximación. *Ería*, no. 35, pp. 203-224. DOI <http://dx.doi.org/10.17811/er.0.1994.203-224>.
- RAMOS-SANTANA, A. 1987. La confusa demografía gaditana del siglo XIX (1800-1875). *Anales de la Universidad de Cádiz*, vol. 3-4, pp. 251-261.
- RAVENHILL, W. 1976. As to its position in respect to the heavens. *Journal Imago Mundi*, vol. 28, no. 1, pp. 79-93.
- RAVENHILL, W. y GILG, A. 1974. The Accuracy of Early Maps? Towards a Computer Aided Method. *The Cartographic Journal*, vol. 11, no. 1, pp. 48-52. ISSN 00087041. DOI <http://dx.doi.org/10.1179/caj.1974.11.1.48>.
- REAL BIBLIOTECA. PATRIMONIO NACIONAL 2014. Historia Militar de España. Ingenieros Militares Ilustres. [en línea]. Disponible en: http://www.altorres.synology.me/personajes/ingenieros/ilustres/prospero_verboom.htm.
- REAL INSTITUTO Y OBSERVATORIO DE LA ARMADA 2016a. Anomalías magnéticas. Real Observatorio de la Armada. *Real Instituto y Observatorio de la Armada* [en línea]. Disponible en: <http://www.armada.mde.es/ArmadaPortal/page/Portal/ArmadaE>

spannola/ciencia_observatorio/prefLang_es/05_Geofisica--02_servicio_geomagnetismo--03_anomalias_magneticas_es.

REAL INSTITUTO Y OBSERVATORIO DE LA ARMADA 2016b. Los observatorios geomagnéticos. Real Observatorio de la Armada. *Real Instituto y Observatorio de la Armada* [en línea]. Disponible en: http://www.armada.mde.es/ArmadaPortal/page/Portal/ArmadaEspannola/ciencia_observatorio/prefLang_es/05_Geofisica--02_servicio_geomagnetismo--02_observatorios_geomagneticos_es.

REINHARD, W. 1967. *Zur Entwicklung des Kartenbildes der Britischen Inseln bis auf Mercatori Karte vom Jahre 1564. PhD dissertation (1909)*. Reprint of. S.I.: Unveränderter Nachdruck der Ausgabe Zschopau.

ROBINSON, A.H. 1971. The Genealogy of the Isopleth. *The Cartographic Journal*, vol. 8, no. 1, pp. 49-53.

RODRÍGUEZ ÍÑIGUEZ, J. 2015. Cadiz y sus características Torres Miradores. *El blog de Fina's y Mar. Lugares con encanto*. [en línea]. Disponible en: <http://finadiz10.overblog.es/2015/01/cadiz-y-sus-caracteristicas-torres-miradores.html>.

ROUBITSCHKEK, W. 1959. *Die amtlichen topographischen Vermessungen der Altenburger Gebiete; Vom Ausgang des 16. bis zum Beginn des 19. Jahrhunderts*. Wissenschaft. S.I.: Halle-Wittenberg, Math.-Nat., Serie VIII.

RUIZ NIETO-GUERRERO, M.P. 1997. *Historia Urbana de Cádiz. Génesis y formación de una ciudad moderna*. Cádiz: Universidad de Cádiz.

RUIZ NIETO-GUERRERO, M.P. 1999. *Historia Urbana de Cádiz. Génesis y formación de una ciudad moderna*. Cádiz: Caja San Fernando. ISBN 9788492331062.

RUIZ NIETO-GUERRERO, M.P. y JIMÉNEZ-MATA, J.J. 2016. *Historia Urbana de Cádiz. Génesis y formación de una ciudad moderna*. S.I.: Colegio Oficial de Arquitectos de Cádiz. ISBN 978-84-608-9157-4.

SÁEZ-ROMERO, A.M. y HIGUERAS-MILENA-CASTELLANO, A. 2016. Cerámicas fenicias arcaicas de procedencia subacuática del área de la Caleta (Cádiz): ensayo de contextualización e interpretación histórica. *CuPAUAM*, vol. 42, pp. 119-142. DOI <http://dx.doi.org/10.15366/cupauam2016.42.004>.

SAN-ANTONIO-GÓMEZ, C., VELILLA-LUCINI, C. y MANZANO-AGUGLIARO, F. 2011. Tomas Lopez's Geographic Atlas of Spain in the Peninsular War: A Methodology for Determining Errors. *Survey Review*, vol. 43, no. 319, pp. 30-44. ISSN 00396265. DOI 10.1179/003962610X12747001420861.

SAN-ANTONIO-GÓMEZ, C., VELILLA-LUCINI, C. y MANZANO-AGUGLIARO, F. 2014. Urban and landscape changes through historical maps: The Real Sitio of Aranjuez (1775-2005), a case study. *Computers, Environment and Urban Systems*, vol. 44, pp. 47-58. ISSN 01989715. DOI 10.1016/j.compenvurbsys.2013.12.001.

SAN-ANTONIO-GÓMEZ, C., VELILLA-LUCINI, C. y MANZANO-AGUGLIARO, F. 2015. Photogrammetric techniques and surveying applied to historical map analysis. *Survey Review*, vol. 47, no. 341, pp. 115-128. ISSN 0039-6265. DOI 10.1179/1752270614Y.0000000098.

SÁNCHEZ-ESPESO, J. 1999. UD IV. Temas 1 a 4. Geodesia y Cartografía. Introducción al tratamiento Geodésico. *OpenCourseWare Universidad Cantabria* [en línea]. [Consulta: 21 octubre 2016]. Disponible en: http://ocw.unican.es/historico-de-cursos/topografia-y-geodesia/topografia-y-geodesia/04_matClase/ud4_1_tratamientoGeodesico.pdf.

SIERRA-FERNÁNDEZ, J.A. 1984. *Las torres-miradores de Cádiz*. Cádiz: Caja de Ahorros de Cádiz. ISBN 9788475800783.

ŠKALOŠ, J., WEBER, M., LIPSKÝ, Z., TRPÁKOVÁ, I., ŠANTRÁČKOVÁ, M., UHLÍŘOVÁ, L. y KUKLA, P. 2011. Using old military survey maps and orthophotograph maps to analyse long-term land cover changes - Case study (Czech Republic). *Applied Geography*, vol. 31, no. 2, pp. 426-438. ISSN 01436228. DOI 10.1016/j.apgeog.2010.10.004.

SMAIL, D.L. 2000. The Linguistic Cartography of Property and Power in Late Medieval Marseille. En: B.A. HANAWALT y M. KOBIALKA (eds.), *Medieval Practices of Space*. Minneapolis: University of Minnesota Press, pp. 37-63.

SMITH, D. 2010. The military mapping of British towns c. 1519-c. 1815. *Bulletin of the Society of Cartographers*, vol. 44, pp. 53-59.

STEGENA, L. 1976. A Tissot-féle indikátrixok Lázár térképein. En: L. STEGENA (ed.), *A magyar térképészet kezdetei*. Budapest: Tankönyvkiadó, pp. 89-91.

STEGENA, L. 1982. Distortions on Lazarus's maps. En: L.

FUENTES DE INFORMACIÓN

- STEGENA (ed.), *Lazarus Secretarius – The first Hungarian mapmaker and his work*. Budapest: Akadémiai Kiadó, pp. 97-102.
- STEIFF, E. 1899. Wilhelm Schickhart und seine Landesaufnahme Württembergs 1624- 1635. *Zeitschrift für Vermessungswesen*, vol. 28, pp. 401-415, 537-549.
- STEINER, C. 1994. *Genauigkeitsanalyse des Atlas Tyrolensis*. Vienna: Technische Universität Wien.
- STONE, J.C. 1968. An Evaluation of the «Nidisdalle» Manuscript Map by Timothy Pont. *Scottish Geographical Magazine*, vol. 84, no. 3, pp. 160-171.
- STONE, J.C. 1972. Techniques of scale assessment on historical maps. *22nd International Geographical Congress. Montréal 1972*. Montréal: s.n., pp. 453-454.
- STONE, J.C. y GEMMELL, A.M.D. 1977. An Experiment in the Comparative Analysis of Distortion on Historical Maps. *The Cartographic Journal*, vol. 14, no. 1, pp. 7-11. ISSN 00087041. DOI 10.1179/000870477787699867.
- SYMINGTON, A., CHARLTON, M.E. y BRUNSDON, C.F. 2002. Using bidimensional regression to explore map lineage. *Computers, Environment and Urban Systems* [en línea], vol. 26, no. 2-3, pp. 201-218. ISSN 0717-6163. DOI 10.1007/s13398-014-0173-7.2. Disponible en: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/15003161>.
- SZÉKELY, B. 2009. Rediscovering the old treasures of cartography. What an almost 500-year-old map can tell to a geoscientist. *Acta Geodaetica et Geophysica Hungarica*, vol. 44, no. 1, pp. 3-16. ISSN 1217-8977. DOI 10.1556/AGeod.44.2009.1.2.
- THOMPSON, M.M. 1956. How Accurate is that Map? *Surveying and Mapping*, vol. 16, no. 2, pp. 164-173.
- THROWER, N.J.W. 1969. Edmond Halley as a Thematic Geocartographer. *Annals of the Association of American Geographers*, vol. 59, no. 4, pp. 652-676.
- TISSOT, N.A. 1881. *Mémoire sur la représentation des surfaces et les projections des cartes géographiques* [en línea]. Paris, France: Gauthier Villars. Disponible en: <https://archive.org/stream/mmoiresurlarepr00tissgoog#page/n10/mode/2up>.
- TOBLER, W.R. 1965. Computation of the correspondence of geographical patterns. *Papers of the Regional Science Association*, vol. 15, no. 1, pp. 131-139.
- TOBLER, W.R. 1966. Medieval Distortions: The Projections of Ancient Maps. *Annals of the Association of American Geographers*, vol. 56, no. 2, pp. 351-360. ISSN 0004-5608. DOI 10.1111/j.1467-8306.1966.tb00562.x.
- TOBLER, W.R. 1994. Bidimensional regression. *Geographical Analysis* [en línea], vol. 26, no. 3, pp. 187-212. ISSN 1082-989X. DOI 10.1037/1082-989X.8.4.468. Disponible en: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1538-4632.1994.tb00320.x/abstract>.
- TORRE TAVIRA 2015. Historia de las torres miradores de Cádiz. *Torre Tavira. Cámara Oscura* [en línea]. [Consulta: 2 julio 2017]. Disponible en: http://www.torretavira.com/wp-content/uploads/2015/09/torres_mirador.pdf.
- TSOTSOS, G.P. y SAVVAIDIS, P.D. 2003. Identification of Unidentified Historical Sites in Macedonia with the Aid of a Comparison of Ptolemy's and Present-Day Coordinates. *The Cartographic Journal*, vol. 40, no. 3, pp. 235-242. DOI <http://dx.doi.org/10.1179/000870403225012934>.
- TUCCI, M. y GIORDANO, A. 2011. Positional accuracy, positional uncertainty, and feature change detection in historical maps: Results of an experiment. *Computers, Environment and Urban Systems* [en línea], vol. 35, no. 6, pp. 452-463. ISSN 01989715. DOI 10.1016/j.compenvurbsys.2011.05.004. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2011.05.004>.
- TUCCI, M., GIORDANO, A. y RONZA, R.W. 2010. Using Spatial Analysis and Geovisualization to Reveal Urban Changes: Milan, Italy, 1737–2005. *Cartographica: The International Journal for Geographic Information and Geovisualization*, vol. 45, no. 1, pp. 47-63. ISSN 0317-7173. DOI 10.3138/carto.45.1.47.
- TUNO, N., MULAHSIC, A., KOZLICIC, M. y ORESKOVIC, Z. 2011. Border Reconstruction of Bosnia and Herzegovina's Access to the Adriatic Sea at Sutorina by Consulting Old Maps. *Kartografija i Geoinformacije*, vol. 10, no. 16, pp. 26-55.
- USHERWOOD, S. y USHERWOOD, E. 2001. *El saqueo de Cádiz. Versión inglesa del ataque de 1596, según el diario del Mary Rose*. S.I.: Servicio de Publicaciones de la Diputación de Cádiz. ISBN 978-84-95388-16-2.

- USÓN-FINKENZELLER, C., CALVO-BÓVEDA, R. y RODRÍGUEZ-LÓPEZ, I. 2016. Catastro de Ensenada. Respuestas Generales-Grafía actual. *Ministerio de Educación, Cultura y Deportes* [en línea]. [Consulta: 13 julio 2016]. Disponible en: Ministerio de Educación, Cultura y Deporte.
- VAGNETTI, L. 1972. Considerazioni sui ludi matematici. *Studi e documenti di architettura*. Num. 1. Omaggio ad. Firenze: s.n., pp. 175-259.
- VIGANÓ, M. 2007. Colecciones de modelos de plazas fuertes de los Borbones de Francia, España y Nápoles en el siglo XVIII. *Boletín del Seminario de Arte*, no. 72, pp. 219-23. DOI <http://uvadoc.uva.es/handle/10324/9190>.
- VILLANOVA, J.L. 2011. El plano de Córdoba (1884) de Dionisio Casañal y Zapatero. *Cuadernos Geográficos*, vol. 5462, no. 49, pp. 123-152. ISSN 02105462.
- WAGNER, H. 1895. Das Rätsel der Kompasskarten im Lichte der Gesamtentwicklung der Seekarten. En: G. KOLLM (ed.), *Verhandlungen, des elften Deutschen Geographentages, Bremen am 17, 18, und 19. April 1895* [en línea]. Bremen (Deutschland): Geographische Verlagshandlung Dietrich Reimer (Hoefer & Vohsen), pp. 65-87. Disponible en: http://digilib.nalis.bg/dspviewerb/srv/viewer/3430?tk=AAANZgAAABYUCd_Q2T0h7ezVLhT1iLKWqbMSQ.
- WARMOES, I. 2016. La Rationalisation de la production cartographique à grande échelle au temps de Vauban. En: A. CÁMARA MUÑOZ (ed.), *El dibujante ingeniero al servicio de la monarquía hispánica* [en línea]. S.I.: Fundación Juanelo Turriano, pp. 297-314. Disponible en: <http://www.lefc.fr/new/articles/195-article-6.pdf>.
- WOLF, R. 1879. *Geschichte der Vermessungen in der Schweiz als historische Einleitung zu den Arbeiten der schweiz. geodätischen Commission*. [en línea]. Zürich: Commission von S. Höhr. Disponible en: <http://www-erara.ch/zut/content/titleinfo/3599720>.
- WOLTER, J.A. 1972. The heights of mountains and the lengths of rivers. *Surveying and Mapping*, vol. 32, no. 3, pp. 312-329.
- YAMASHITA, A., KAWARAGO, A., KANEKO, T. y MIURA, K.T. 2004. Shape reconstruction and image restoration for non-flat surfaces of documents with a stereo vision system. *Proceedings - International Conference on Pattern Recognition*. S.I.: s.n., pp. 482-485. ISBN 0769521282.

LA COLECCIÓN

PRIMER CUARTO



SEGUNDO CUARTO



TERCER CUARTO



ÚLTIMO CUARTO

