

LUIS URTEAGA* Y JOAN CAPDEVILA **

*Departamento de Geografía Humana. Universidad de Barcelona **Instituto Geográfico Nacional

*Tres hitos en el establecimiento de la red geodésica en Cataluña*¹

RESUMEN

Este artículo estudia las etapas principales en el establecimiento de la red geodésica en Cataluña. Se identifica a los geodestas que protagonizaron las observaciones y se describen los objetivos, instrumental y procedimientos de observación empleados en cada una de las etapas.

RÉSUMÉ

Cet article étudie les principales étapes du développement du réseau géodésique en Catalogne. On identifie les géodésiens qui ont fait les observations et on décrit les objectifs, les instruments et les procédures d'observation utilisés à chaque étape.

ABSTRACT

This article examines the main stages in the development of the geodetic network in Catalonia. It identifies the geodesists who carried on the observations and describes the aims, instruments and observation procedures used in each stage.

PALABRAS CLAVE/MOTS CLÉ/KEYWORDS

Red geodésica, Cataluña, España, meridiano Dunkerke-Barcelona. Réseau géodésique, Catalogne, Espagne, méridien de Dunkerque-Barcelone. Geodetic network, Catalonia, Spain, meridian Dunkirk-Barcelona.

I. INTRODUCCIÓN

La observación de triangulaciones geodésicas ha obedecido históricamente a propósitos muy distintos, como la investigación sobre la figura y la dimensión de la Tierra, la determinación de unidades de medida o la creación de infraestructuras necesarias para apoyar levantamientos topográficos. Sin embargo, pese a tener orígenes y motivaciones diversas, las observaciones han podido combinarse e integrarse dando lugar a redes estables que tienen una fuerte inercia histórica. El establecimiento de la red geodésica en Cataluña suministra un buen ejemplo de ello.

La primera materialización de una red geodésica en la península ibérica se produjo en Cataluña a finales del

siglo XVIII, con motivo de la medición del meridiano de París entre Dunkerque y Barcelona. Pese a este trabajo pionero, no se llegaría a contar con una red geodésica suficientemente densa como para apoyar en ella un levantamiento topográfico a gran escala hasta la segunda década del siglo XX. En realidad, el desarrollo de la red geodésica en territorio catalán presenta una marcada discontinuidad, pudiendo distinguirse tres etapas muy diferenciadas, separadas cada una de ellas por casi medio siglo. La primera, correspondiente a los años 1792-1807, fue protagonizada por los geodestas franceses que efectuaron la observación de la cadena del meridiano de París. En la segunda, desarrollada entre 1860 y 1879, se formalizó en Cataluña la triangulación geodésica de primer orden a cargo del Instituto Geográfico y Estadístico. Finalmente, entre 1910 y 1919 se procedió a la observación de las triangulaciones de segundo y tercer orden que servirían de apoyo al levantamiento topográfico.

¹ Este trabajo se ha realizado en el marco del proyecto de investigación CSO2011-29027-C20-01 financiado por la Dirección General de Investigación del Ministerio de Ciencia e Innovación.

CUADRO 1. *Vértices geodésicos de la cadena del arco de meridiano de París observados en Cataluña*

ESTACIÓN	DESIGNACIÓN ORIGINAL	OBSERVADOR	AÑO
Puig de Calmelles	Puy-Camellas	Méchain	1793 y 1795
Mare de Déu del Mont	Nôtre-Dame-du-Mont	Méchain	1792
Puigsacalm	Puig-se-Calm	Méchain y Tranchot	1793
Puigsou	Roca-Corva	Méchain	1792
Matagalls	Matagall ou de Monsèn	Méchain y Chaix	1792
Puig Rodó	Puig-Rodòs	Méchain	1792
Turó d'en Galceran	Mont-Matas	Tranchot y Méchain	1792 y 1803
Sant Jeroni	Mont-Serrat	Méchain	1792 y 1803
Turó de Can Pasqual	Valvidrera	Méchain	1792
Montjuïc	Montjouy	Méchain	1792 y 1793
La Morella	Morella	Méchain	1803
Montagut	Montagut	Méchain	1803
Sant Antoni	Chapelle Saint-Jean	Méchain	1803
La Miranda	Lléberia	Méchain	1803
Torreta de Montsià	Mont-Sia	Méchain	1803
L'Espina	Bosc de la Espina	Arago y Rodríguez	1807

Fuente: Elaboración propia a partir de Méchain y Delambre (1806) y Biot y Arago (1821).

El propósito de este trabajo es ofrecer una descripción del desarrollo de las operaciones geodésicas en las etapas citadas. Se presentan los elementos de discontinuidad entre ellas en lo que atañe a los objetivos, el instrumental y las rutinas de observación, pero también los poderosos elementos de continuidad: la cadena del meridiano París quedó incorporada a la triangulación geodésica de primer orden que, a su vez, sirvió de apoyo a las redes de segundo y tercer orden. Nos referimos aquí a la red geodésica en su acepción de triangulación con finalidad planimétrica. Quedan, por tanto, fuera del alcance de este estudio otros tipos de redes geodésicas, como la red de nivelación o la red gravimétrica.

II. LA MEDICIÓN DEL MERIDIANO DUNKERKE-BARCELONA

Dos años después de los hechos que precipitaron la Revolución, la Academia de Ciencias francesa tomaba la decisión de llevar a cabo la medida precisa de un arco del meridiano que pasa por el Observatorio de París. Fue la conclusión a la que llegaron algunos de los sabios más famosos de su época (entre los que se pueden citar a La-

place, Lagrange y Monge) para resolver una cuestión que era considerada fundamental para el ideario ilustrado: la determinación de un patrón de longitud, el metro, obtenido de forma objetiva y reproducible a partir de la propia naturaleza. La razón pretendía dejar atrás al desordenado y caprichoso sistema de medidas imperante, de la misma forma que en las calles y en la Asamblea Nacional se dejaba atrás el Antiguo Régimen.

La medida del arco de meridiano se planteó de forma ambiciosa: se llevaría a cabo con el mejor instrumental salido del taller del mejor artesano, Jean-Charles Borda, que sería utilizado por los mejores especialistas de la época, Jean-Baptiste Delambre y Pierre Méchain, y abarcaría de mar a mar, de Dunkerque a Barcelona, con la finalidad de obtener los resultados más precisos posibles. Se pretendía convencer al mundo tanto de la bondad del método como de la habilidad de los científicos franceses para aplicarlo².

El tramo catalán fue encargado a Pierre Méchain (1744-1804), geodesta y astrónomo reputado. Ambos

² El instrumento principal es conocido como círculo repetidor o de repetición de Borda. Una buena descripción de toda la medida se puede ver en Alder (2003).

aspectos eran necesarios, ya que la medida consistía, básicamente, en la determinación de la diferencia entre las latitudes astronómicas en ambos extremos del arco para compararla con la distancia medida sobre el meridiano que los une, que iba a ser determinada mediante la técnica de la triangulación geodésica. Los trabajos empezaron a principios de 1792 y el 10 de julio Méchain llegaba a Barcelona junto con su ayudante, Jean-Joseph Tranchot. Carlos IV comisionó para colaborar en el proyecto, por parte de España, a varios militares y científicos, entre los que cabe destacar al astrónomo José Chaix Isnier (1765-1809). Avanzaron rápidamente, empezando por el que sería el punto principal al sur de la red geodésica: el castillo de Montjuïc. Desandaron el camino hacia la frontera al tiempo que medían triángulos, pero no pudieron continuar por el inicio de la guerra de la Convención. Méchain tuvo que volver a Barcelona, donde diversos avatares lo tuvieron retenido hasta 1794, cuando consiguió embarcarse rumbo a Italia. Durante ese periodo llevó a cabo varias medidas y cálculos en la ciudad, entretejiendo sobre ella una pequeña red geodésica local³.

En 1799 Napoleón Bonaparte sancionó la determinación definitiva del metro. Sin embargo, Pierre Méchain planteó una idea que había ido tomando cuerpo durante su estancia en Barcelona: la prolongación del arco del meridiano a las islas Baleares. De esta manera, el arco se ampliaría hasta unos 12° y estaría centrado en el paralelo 45°, lo cual compensaría los posibles errores derivados de una mala determinación de la excentricidad terrestre. Por otro lado, al ampliar el arco era de esperar que los pequeños errores cometidos en las observaciones tendrían un peso menor en los resultados⁴. Méchain había entrevistado las islas desde Montjuïc y creía viable enlazarlas desde la costa catalana. Consiguió la encomienda del trabajo y retornó a Barcelona el 5 de mayo de 1803 junto con su hijo y dos ayudantes. Fue bajando por la costa con la esperanza de encontrar un punto que le permitiera ver con suficiente nitidez las islas. En 1804 viajó a Ibiza y a Mallorca. Los triángulos que proyectó le llevaron a la costa valenciana. Murió ese mismo año en Castellón de la Plana, trabajando, víctima del paludismo⁵.

El proyecto de extensión del arco de meridiano no fue retomado hasta 1806, cuando el Bureau de Longitudes⁶ encargó su continuación a Jean-Baptiste Biot (1774-

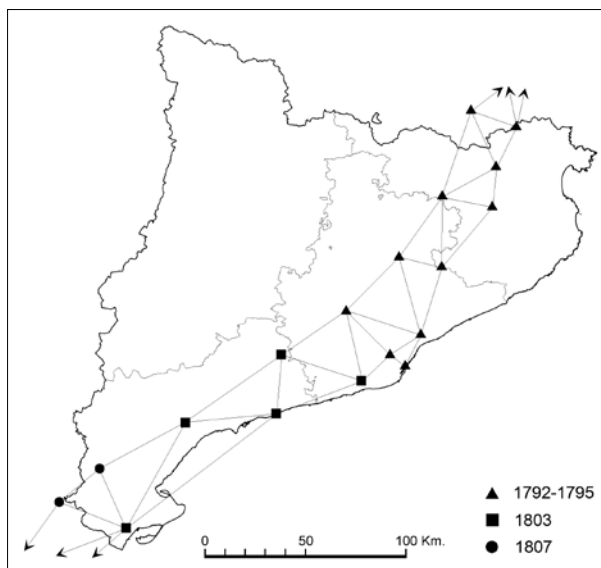


FIG. 1. Red observada entre 1792 y 1807 en Cataluña. En el extremo norte se ha representado el punto en Puig d'Estella y, en el sur, el del Tossal d'Encanadé. Fuente: elaboración propia a partir de Méchain y Delambre (1806) y Biot y Arago (1821).

1862) y François Arago (1786-1853), quienes fueron acompañados por varios comisionados por parte del Gobierno español, entre los que cabe destacar al matemático José Rodríguez González (1770-1824) y, de nuevo, a José Chaix. Retomando los trabajos de Méchain donde los dejó, en el Montsià, durante dos años extendieron la red por la costa levantina y por Baleares.

Los resultados fueron excelentes para la época, con cierres de los triángulos no superiores a los 4" sexagesimales⁷. En la cuadro 1 y la Fig. 1 se resumen los puntos observados en Cataluña. La red enlaza con Francia por el norte mediante los puntos situados en el Puig d'Estella (en el macizo del Canigó), en Perpiñán y en Força Réal. En esta zona se midió una de las dos bases geodésicas del primer proyecto de arco de meridiano. Situada entre Perpiñán y el castillo de Salses, con una longitud de casi doce kilómetros, sirvió para verificar la bondad de la medida de la red que unía las dos bases: la discrepancia entre lo medido y lo calculado fue de unos 30 cm⁸, es decir, de una parte por cuarenta mil. Por el sur, la red enlaza con el vértice Encanader en Teruel y los vértices Ares y Desierto en Castellón.

³ Capdevila (2010).

⁴ Biot y Arago (1821: p. ix).

⁵ Ten (2004).

⁶ Organismo creado en 1795 con la misión inicial de mejorar la determinación de la longitud en el mar. Bajo su mando quedó el Observatorio de París.

⁷ Ruiz Morales y Ruiz Bustos (2000: p. 188).

⁸ Arago (1856: p. 334).

III. LOS INICIOS DE LA RED GEODÉSICA ESPAÑOLA

Los trabajos de Pierre Méchain, y los posteriores de Biot y Aragó, fueron el primer paso para construir el edificio geodésico en España. Ahora bien, los pasos siguientes tardaron muchos años en darse. La crisis del Antiguo Régimen, las guerras carlistas y la tortuosa construcción del Estado liberal fueron demorando los proyectos de triangulación geodésica hasta mediados del siglo XIX⁹, cuando finalmente se pudo encauzar la formalización de una red geodésica a cargo de instituciones oficiales.

El esquema general de la red geodésica fundamental fue esbozado por el ingeniero militar Fernando García de San Pedro en el otoño de 1853, cuando la Junta Directiva del Mapa de España (el organismo encargado entonces de la formación de la carta geográfica oficial) pasó a depender del Ministerio de la Guerra. Los trabajos preliminares para el establecimiento de la red geodésica comenzaron en la primavera de 1854. Consistieron en la selección de un terreno adecuado para emplazar la base central de la triangulación, que se decidió localizar en las proximidades del pueblo de Madridejos (Toledo), y en el inicio del reconocimiento y medición provisional de las cadenas fundamentales.

La red geodésica de primer orden del territorio peninsular estaba formada por diez cadenas de grandes triángulos, cuyos lados tienen una longitud media de 40 kilómetros¹⁰. Cuatro cadenas de orientación norte-sur seguían aproximadamente los meridianos de Salamanca, Madrid, Pamplona y Lleida. Estas cadenas estaban cortadas transversalmente por las cadenas de los paralelos de Palencia, Madrid y Badajoz. Tres cadenas adicionales, trazadas en la costa norte, en la costa sur, y a lo largo del litoral mediterráneo, ceñían las costas de la Península. La observación y cálculo definitivo de esta red se prolongó hasta 1879. Posteriormente, se procedió a la densificación de la red fundamental con redes de segundo y tercer orden, cuya observación y cálculo concluyó en 1934.

La primera fase de observaciones provisionales se extendió desde 1854 a 1858, siendo dirigidas por Joaquín de Loresecha. En las campañas de 1854 y 1855 se extendió la cadena del paralelo de Madrid hasta la frontera portuguesa y el Mediterráneo, enlazando con la red geodésica

lusa y con el meridiano de Dunkerque por Castellón¹¹. En los años siguientes prosiguió la observación de las cadenas fundamentales, observándose las cadenas de los paralelos de Palencia y Badajoz, y las de los meridianos de Salamanca y Pamplona. En 1857 se produjo el enlace con la triangulación de Méchain en Cataluña.

Mientras se realizaban estas operaciones, los geodestas Carlos Ibáñez e Ibáñez de Íbero y Frutos Saavedra Meneses realizaron un estudio sobre los instrumentos utilizados en distintos países europeos para la medición de bases de triangulación. Como resultado de este trabajo la Junta Directiva del Mapa de España decidió encargar la construcción de un instrumento de alta precisión, denominado modernamente «regla española», que debía servir para la medición de la base de Madridejos.

La construcción del aparato y la calibración y ensayos con el mismo consumieron casi tres años, al cabo de los cuales pudo acometerse la medición de la base central. El trazado definitivo de la base se realizó en noviembre de 1857¹². La medición directa se efectuó entre mayo y octubre de 1858, obteniéndose una longitud de 14.662,8964 metros, con un error estimado de sólo una parte por 5.800.000. Dada la notable longitud de la base, se decidió realizar una comprobación indirecta de la misma, a partir de una remediación de su sección central y de una red auxiliar formada por cuatro puntos extremos. La triangulación para obtener el valor indirecto se efectuó en 1859, alcanzándose un valor muy próximo a la primera medida¹³. La operación fue dirigida por Carlos Ibáñez, siendo auxiliado por los geodestas Frutos Saavedra, Fernando Monet y Cesáreo Quiroga. En sesión del 2 de marzo de 1863, la Academia de Ciencias de París calificó la medición de Madridejos de «memorable operación científica»¹⁴.

La medición de la base de Madridejos marca el inicio de los trabajos definitivos en la red geodésica española, que a partir de 1860 serían realizados bajo la competencia de la Comisión de Estadística General del Reino, y desde 1870 por el Instituto Geográfico que sucedió a esta institución. Las determinaciones astronómicas fueron encomendadas al personal del Observatorio Astronómico de Madrid. La dirección de las observaciones geodésicas fue encargada al brigadier de artillería y geólogo Francisco de Luxán, y a partir de 1865 a Francisco Coello Quesada. Sin embargo, el principal protagonismo en el desarrollo de la

⁹ Entre estos proyectos cabe destacar el de Agustí Canelles (1765-1818), que había acompañado a Pierre Méchain en sus trabajos por tierras catalanas. Véanse, al respecto, Montaner (2000), Hernando (2008) y Burgueño (2008).

¹⁰ Sobre la red geodésica española véanse Paladini (1969), Castro Soler (1991), Ruiz Morales y Ruiz Bustos (2000) y Ruiz Morales (2005).

¹¹ Muro, Nadal y Urteaga (1996).

¹² Castro Soler y Muro Morales (1995).

¹³ Sobre la precisión de la base de Madridejos véase Paladini (1969).

¹⁴ Muro, Nadal y Urteaga (1996).

triangulación correspondió al ingeniero militar y geodesta Carlos Ibáñez e Ibáñez de Íbero (1825-1891).

Nacido en Barcelona, y descendiente de una familia de tradición militar, Ibáñez de Íbero ingresó muy joven en la Academia de Ingenieros de Guadalajara. Tras una breve carrera militar, en 1854 ingresó en la Comisión del Mapa de España, donde iniciará su carrera como geodesta. En 1870 fue nombrado director del Instituto Geográfico, cargo que mantendría hasta el año 1889, cuando ya se había finalizado la observación de la red geodésica de primer orden¹⁵.

Los trabajos geodésicos definitivos se centraron inicialmente en la observación de las cadenas correspondientes al meridiano y paralelo de Madrid, al tiempo que se realizaban las primeras experiencias de nivelación geodésica (imprescindibles para poder efectuar el enlace definitivo con la triangulación de Francia y Portugal) y se efectuaba el cierre provisional del perímetro peninsular. El vértice correspondiente al observatorio astronómico de Madrid fue adoptado como punto fundamental o *datum* para el cálculo de la red.

Poco después de asumir la dirección del Instituto Geográfico, Ibáñez de Íbero elaboró un informe dando cuenta del estado de los trabajos geodésicos. Según este informe, en 1870 se habían estacionado ya más de la mitad de los vértices de las cadenas fundamentales¹⁶. Pero quedaba mucho trabajo por delante. No se habían determinado las coordenadas geográficas de ningún vértice de las cadenas, con la excepción de las estaciones correspondientes a los observatorios astronómicos de San Fernando y Madrid. Tampoco se había iniciado las observaciones de las direcciones acimutales, ni se habían emprendido los trabajos de nivelación geodésica. Sobre estas metas va a recaer lo principal del trabajo entre 1871 y 1877, periodo en que se llevó a término la observación definitiva de triangulación geodésica en Cataluña. A continuación se trata con cierto detalle este aspecto de las operaciones geodésicas.

IV. LA TRIANGULACIÓN GEODÉSICA DE PRIMER ORDEN EN CATALUÑA

De las diez cadenas fundamentales que componen la triangulación española de primer orden, tan sólo tres tienen

desarrollo en el territorio catalán: el meridiano de Lleida, el sector oriental del paralelo de Palencia y el segmento más septentrional de la cadena de la costa este, cuya observación preliminar estaba ya concluida en 1866 (Fig. 2).

Entre las tres cadenas citadas, la primera en ser observada fue la denominada «costa este». Esta cadena geodésica, que tiene en total 41 vértices (ocho situados en Cataluña), sigue la dirección de la costa oriental de la Península. Su extremo norte está unido a la triangulación francesa por el lado Forceral-Canigó, y el tramo comprendido entre ese lado y el vértice Montsià es el mismo que, como prolongación del meridiano de París, fue observado a comienzos del siglo XIX por los geodestas franceses Pierre-François Méchain, Jean-Baptiste Biot y François Aragó¹⁷.

La observación definitiva de la cadena de la costa este fue iniciada en 1868 por uno de los colaboradores más directos de Ibáñez de Íbero: el geodesta catalán Joaquín Barraquer Rovira (1834-1906). Nacido en Sant Feliu de Guíxols (Girona), Joaquín Barraquer Rovira era hijo de Joaquín Barraquer Llauder, brigadier del ejército, que llegó a ser capitán general de Cataluña¹⁸. Se formó como ingeniero militar en la Academia de Ingenieros de Guadalajara, donde inició su carrera militar como cadete en 1851. Fue un especialista en geodesia, metrología y gravimetría (Fig. 3).

Además de las observaciones realizadas en la cadena de la costa este, Joaquín Barraquer efectuó la observación de tres estaciones en la cadena del paralelo de Palencia. Barraquer se encargó de seleccionar nuevos vértices en la cadena de la costa mediterránea, a fin de mejorar la forma de algunos triángulos. Las operaciones iniciadas por este geodesta en 1868 fueron completadas en 1876 y 1877 por los geodestas militares Blas Casado y Juan Borrés Segarra (cuadro 2).

La cadena geodésica del paralelo de Palencia tiene una amplitud de 11° 23', siendo la más larga de la Península. El trozo comprendido entre el lado Buñero-Lleida y el lado Rocacorba-Matagalls, que es el correspondiente a Cataluña, fue observado entre 1871 y 1876. Tomaron parte en la medición de esta cadena el ya citado Joaquín Barraquer Rovira, Enrique Uriarte, y el geodesta Juan Ruiz Moreno, que asumió la mayor parte de las operaciones. Ruiz Moreno era ingeniero militar. En 1857, siendo teniente del Cuerpo de Ingenieros militares, fue destinado a la Comisión de Topografía Catastral, encargándose de realizar trabajos topográficos en la provincia de Madrid. Tres años más tarde fue destinado a la Comisión

¹⁵ Sobre la trayectoria de Ibáñez de Íbero pueden verse Castro Soler y Muro Morales (1995) y Martínez Utesa (1995).

¹⁶ Instituto Geográfico (1871).

¹⁷ Instituto Geográfico y Estadístico (1881a: pp. 127-228).

¹⁸ Mier (1909).

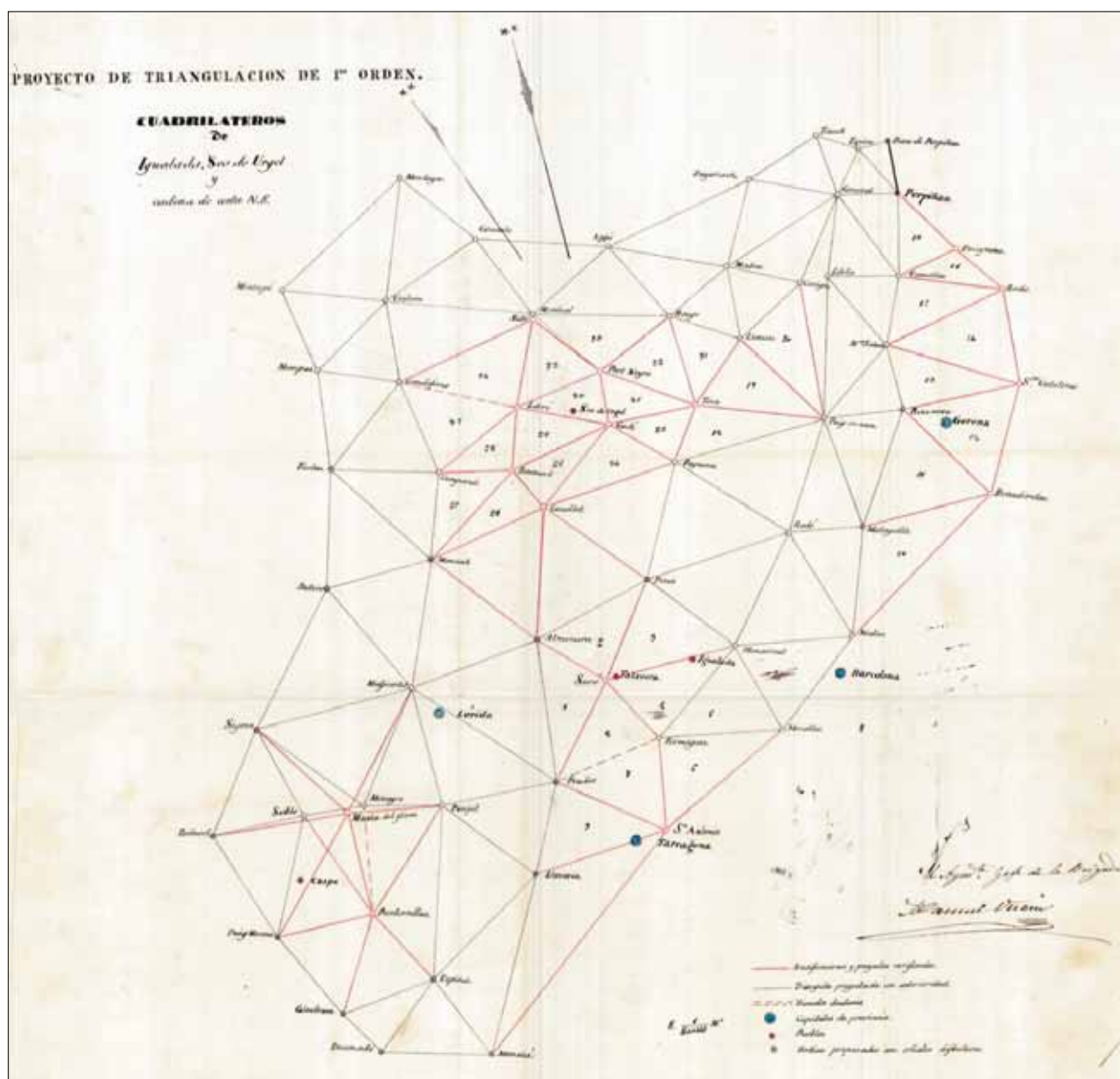


FIG. 2. Proyecto de triangulación de primer orden. Cuadriláteros de Igualada y Seo de Urgel y cadena de costa noreste, 1866. Trabajos geodésicos, 10.^a Brigada. Escala original 1:800.000, de la reproducción 1:2.175.000. Fuente: información geográfica del Instituto Geográfico Nacional (Madrid).

del Mapa de España, ingresando posteriormente en la Junta de Estadística. En 1861 y 1863 proyectó y observó la cadena del meridiano de Madrid y la de la costa sur. En 1863 pasó a formar parte del cuerpo de profesores de la Escuela de Topografía Catastral, permaneciendo varios años dedicado a actividades docentes¹⁹. En 1870, al

crearse el Instituto Geográfico, ingresó en el mismo, ocupándose de la redacción de instrucciones para proyectar y construir señales de primer orden. Los trabajos efectuados en Cataluña le ocuparon desde 1870 hasta 1876 (cuadro 3).

Simultáneamente a los trabajos efectuados en la cadena del paralelo de Palencia, se procedió a realizar la observación de la cadena geodésica del meridiano de Lleida. Esta cadena tiene catorce vértices y abraza

¹⁹ Urteaga (2011).



FIG. 3. Retrato del ingeniero militar y geodesta Joaquín Barraquer Rovira, iniciador y principal observador de la red geodésica de primer orden en Cataluña. Fuente: Archivo Histórico del Instituto Geográfico Nacional, sig. C-770. Donación de Isabel Socías Gil-Montaner.

aproximadamente un arco de dos grados, comprendido entre los lados Maupas-Crabere de la cadena francesa y Espinal-Fangal de la de la costa este. El proyecto y el reconocimiento preliminar de esta cadena habían sido realizados en el año 1857 por los geodestas Fernando Monet y Cesáreo Quiroga. Fernando Monet tomó parte asimismo en las observaciones definitivas, desarrolladas entre 1871 y 1877, acompañado por Blas Casado, Juan Borrés, Enrique Uriarte y Eugenio de Eugenio (cuadro 4).

En las observaciones acimutales de las cadenas citadas se emplearon teodolitos reiteradores Repsold y Pistor. El método empleado fue el de vuelta de horizonte

CUADRO 2. *Vértices geodésicos de la triangulación de primer orden observados en Cataluña. Estaciones de la cadena costa este*

ESTACIÓN	OBSERVADOR	AÑO
261 Canigó	Joaquín Barraquer Rovira	1868
262 Forceral	Joaquín Barraquer Rovira	1868
263 Salinas	Joaquín Barraquer Rovira	1868
264 Montserrat	Joaquín Barraquer Rovira	1871
265 Matas	Joaquín Barraquer Rovira	1871
266 Morella	Joaquín Barraquer Rovira	1871
268 Musara	Blas Casado	1876
269 Salou	Blas Casado	1876
270 Encanadé	Juan Borrés Segarra	1877
271 Montsiá	Juan Borrés Segarra	1876

Fuente: elaboración propia a partir de las *Memorias del Instituto Geográfico y Estadístico*, tomos II y III, 1881. La denominación de las estaciones procede directamente del documento citado.

sin orientar y con reiteración. En cada vuelta se utiliza la regla de Bessel, es decir, se observan los puntos visibles desde la estación primero en sentido horario, con el instrumento en círculo directo o derecho (CD), y luego en sentido antihorario, con el instrumento en posición de círculo inverso o izquierdo (CI). La siguiente vuelta se lleva a cabo girando el limbo acimutal el ángulo de reiteración, en este caso de $7^{\circ} 30'$. En total se realizaban 24 vueltas de horizonte y cada vértice recibía 48 punterías.

La triangulación de primer orden concluyó en Cataluña con la medición de una base geodésica en las proximidades de Vic. Además de la base central de la triangulación geodésica, observada en Madrudejos (Toledo), la red de primer orden contó con ocho bases secundarias: cinco en territorio peninsular, y tres en las islas Baleares²⁰. A diferencia de la base de Madrudejos, que tenía una notable longitud, las bases secundarias fueron bases cortas, cuya longitud oscila entre los 2.000 y los 2.700 metros. La base geodésica de Vic, de unos dos kilómetros y medio de longitud, constituye una de las cinco bases complementarias de la red peninsular (Fig. 4).

La citada base se encontraba situada en un tramo llano y recto entre los kilómetros 64 y 67 de la carre-

²⁰ Las bases de las islas Baleares fueron las de Prat de Sant Jordi (Mallorca), Mahón (Menorca) e Ibiza, observadas entre 1865 y 1870. En el territorio peninsular se observaron, entre 1875 y 1879, las bases secundarias de Lugo, Arcos de la Frontera (Cádiz), Vic, Cartagena y Olite (Navarra). Véase, al respecto, Paladini (1969).

CUADRO 3. *Vértices geodésicos de la triangulación de primer orden observados en Cataluña. Estaciones del paralelo de Palencia*

ESTACIÓN	OBSERVADOR	AÑO
218 Buñero	Juan Ruiz Moreno	1870 y 1876
219 Lleida	Juan Ruiz Moreno	1871
220 Monsec	Juan Ruiz Moreno	1876
221 Aumenara	Juan Ruiz Moreno	1876
222 Coscoller	Juan Ruiz Moreno	1876
223 Pinós	Juan Ruiz Moreno	1876
224 Pagrera	Juan Ruiz Moreno	1876
225 Rodós	Joaquín Barraquer Rovira	1871
226 Puigsacalm	Enrique Uriarte	1876
227 Matagalls	Joaquín Barraquer Rovira	1871
228 Rocacorba	Joaquín Barraquer Rovira	1871

Fuente: elaboración propia a partir de las *Memorias del Instituto Geográfico y Estadístico*, tomos II y III, 1881. La denominación de las estaciones procede directamente del documento citado.

tera de Barcelona a Ribes de Freser. La elección de esta base fue realizada por el geodesta militar Francisco Hernández Martín, que también se encargó de su reconocimiento preliminar. Nacido en Ledesma (Salamanca) en 1834, Francisco Hernández Martín era oficial de Artillería. Ingresó como cadete en la Academia Militar de Segovia en 1849, alcanzando el empleo de teniente de Artillería en 1854, justo al cumplir los veinte años de edad. Destinado al ejército de África en 1859, tomó parte en la guerra de Marruecos, alcanzando el empleo de comandante por méritos de guerra²¹. De regreso a la Península, en 1860, fue destinado a la Junta General Estadística, ocupándose desde entonces en la triangulación geodésica de primer orden. Al igual que Juan Ruiz Moreno, entre 1864 y 1866 fue profesor de matemáticas en la Escuela de Topografía Catastral, que dependía de la Junta General de Estadística²².

En mayo de 1876 Francisco Hernández proyectó la red de enlace de la base de Vic con el lado de la triangulación de primer orden Rodós-Matagalls, correspondiente a la cadena del paralelo de Palencia²³. Al mes siguiente

CUADRO 4. *Vértices geodésicos de la triangulación de primer orden observados en Cataluña. Estaciones del meridiano de Lleida*

ESTACIÓN	OBSERVADOR	AÑO
251 Maupas	Fernando Monet	1873 y 1875
252 Crabere	Enrique Uriarte	1876
253 Besiberri	Fernando Monet	1874
254 Turbon	Fernando Monet	1874
255 Sant Gervás	Enrique Uriarte	1876
256 Pinjat	Eugenio de Eugenio	1871
257 Prades	Eugenio de Eugenio	1871
258 Llavería	Blas Casado	1877
259 Espina	Juan Borrés Segarra	1876
260 Fangal	Blas Casado	1877

Fuente: elaboración propia a partir de las *Memorias del Instituto Geográfico y Estadístico*, tomos II y III, 1881. La denominación de las estaciones procede directamente del documento citado.

verificó las observaciones acimutales definitivas en los ocho vértices que componen la red de enlace.

La medición directa de la base fue dirigida por el geodesta Carlos Ibáñez e Ibáñez de Íbero, utilizando para ello el mismo instrumento que se había empleado por primera vez en la medición de las bases secundarias de las islas Baleares. Tomaron parte en la operación los auxiliares de geodesia Emilio Aguilera, Manuel Pargada, Fidel Blanco, Francisco Jerez, Bernardo Mencía y Ponciano Ferrari²⁴, que efectuaron dos mediciones consecutivas. La primera medición, que comenzó por el extremo sur de la base, tuvo lugar entre el 29 de junio y el 1 de julio de 1877. Al día siguiente se inició la segunda medición, que quedó concluida el 4 de julio. La diferencia entre ambas operaciones fue de tan sólo 0,002 metros, obteniéndose un valor promedio de 2.483,5382 metros, con un error estimado de 0,7 milímetros.

Con la medición de la base de Vic quedó prácticamente cerrada la observación de la red de primer orden en el territorio peninsular. A continuación se acometieron dos operaciones geodésicas de gran dificultad, que significarían la conclusión de la triangulación primordial: el enlace de la red peninsular con Argelia, efectuado bajo la dirección de Ibáñez de Íbero en 1879, y el enlace de

²¹ Expediente personal de Francisco Hernández Martín. Archivo General Militar de Segovia, sección 1.ª, leg. E-649.

²² Urteaga (2011).

²³ Instituto Geográfico y Estadístico (1881c: pp. 437-482).

²⁴ Instituto Geográfico y Estadístico (1881b: pp. 419-435).

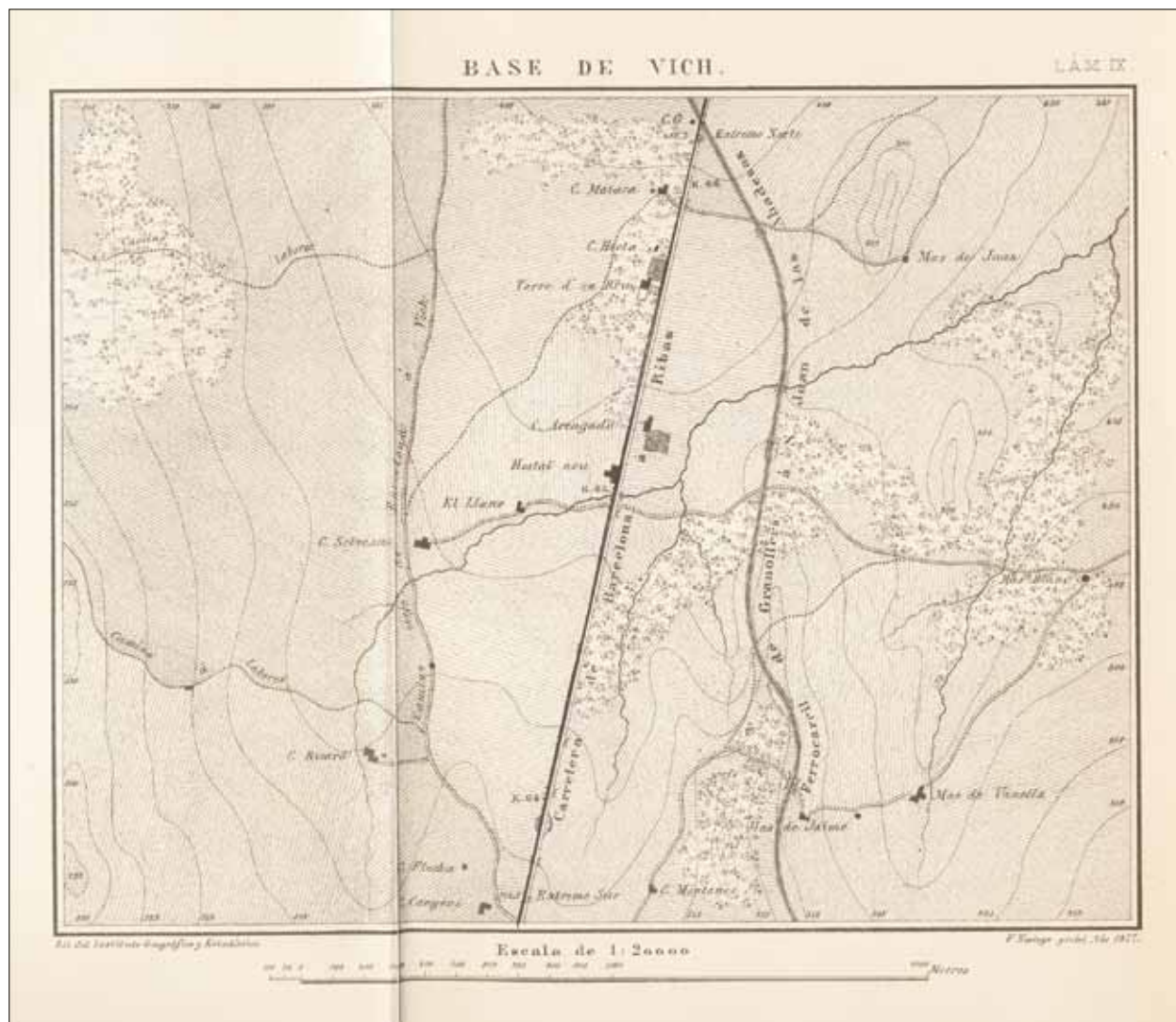


FIG. 4. Base geodésica de Vic. Fuente: *Memorias del Instituto Geográfico y Estadístico*, tomo III, 1881, lámina 9. Instituto Geográfico Nacional.

la triangulación de las islas Baleares con la Península, dirigido por el geodesta Vicente López Puigcerver entre 1881 y 1884²⁵.

V. LA TRIANGULACIÓN GEODÉSICA DE SEGUNDO Y TERCER ORDEN

Entre la medición de la base de Vic, en 1877, y la reanudación de los trabajos geodésicos en Cataluña

transcurrieron casi treinta y cinco años. Esta vez la demora tiene su explicación dentro de la lógica organizativa del mapa topográfico de España a escala 1:50.000. Las triangulaciones de segundo y tercer orden tenían por objeto el servir de base para el levantamiento topográfico del citado mapa. En consecuencia, las operaciones geodésicas avanzaron en paralelo al desarrollo espacial del levantamiento topográfico²⁶.

La triangulación de segundo orden de la Península se había iniciado en 1860. Las primeras operaciones se

²⁵ Sobre estas operaciones de enlace puede verse Castro Soler (1991).

²⁶ Véase, al respecto, Urteaga y Nadal (2001).

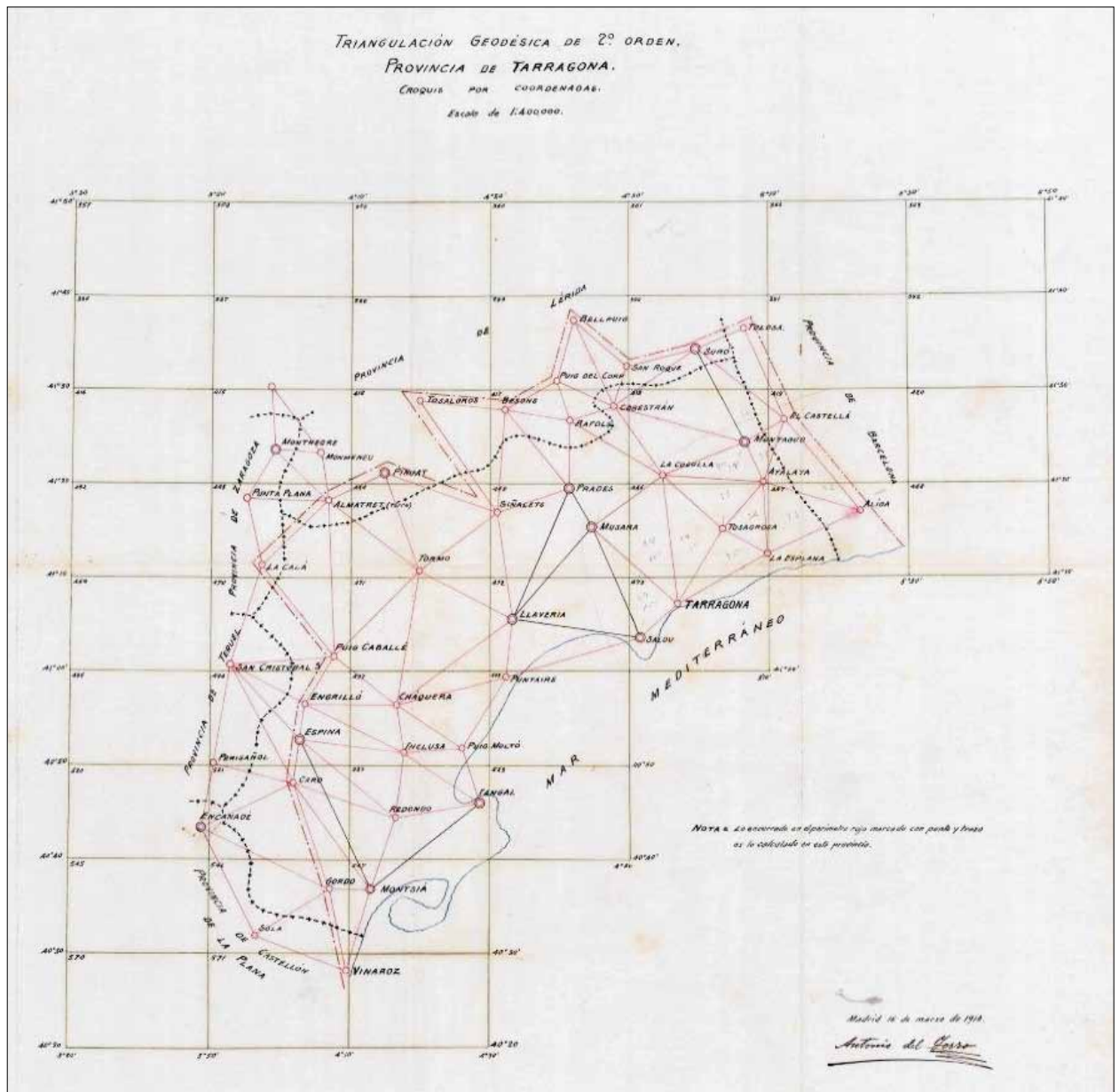


FIG. 5. Triangulación geodésica de segundo orden. Provincia de Tarragona. Escala original 1:400.000, de la reproducción 1:1.426.000. Fuente: información geográfica del Instituto Geográfico Nacional.

realizaron en la provincia de Madrid, según un proyecto trazado por el geodesta Eusebio Ruiz Salaverría²⁷. La unidad para el proyecto, la observación y cálculo de esta red fue la provincia, uniéndolas todas progresivamente para formar una red continua que cubría todo el país.

Dentro de la red de segundo orden se incluyeron todos los vértices de primer orden, y quedaron fijadas todas las capitales de provincia, bien como vértices de la red, bien como puntos interiores²⁸. La longitud de los lados de esta triangulación varía entre 10 y 25 kilómetros.

²⁷ Muro, Nadal y Urteaga (1996: p. 176).

²⁸ Dirección General del Instituto Geográfico y Estadístico (1908).

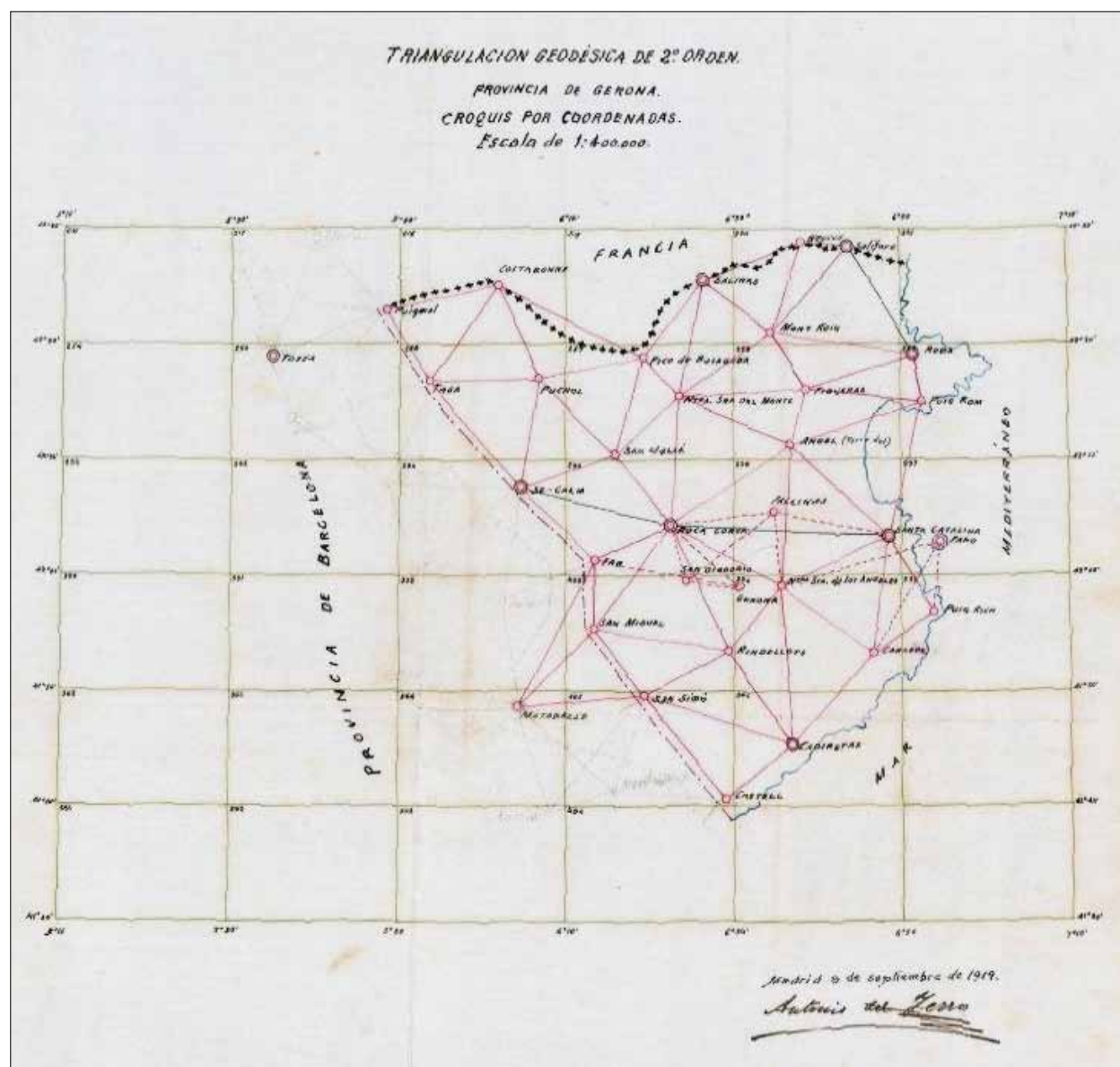


FIG. 6. Triangulación geodésica de segundo orden. Provincia de Gerona. Escala original 1:400.000, de la reproducción 1:1.135.000. Fuente: información geográfica del Instituto Geográfico Nacional.

A partir de 1870 los trabajos topográficos se trasladaron a Andalucía (provincias de Córdoba, Sevilla y Cádiz), y desde allí fueron progresando lentamente de sur a norte, según una lógica que obedecía esencialmente a las necesidades de información catastral²⁹. Debido a esta

orientación espacial, el levantamiento no alcanzó el territorio catalán hasta el inicio de la segunda década del siglo xx. Entre 1910 y 1912 se trasladaron a Cataluña una docena de ingenieros geógrafos y medio centenar de topógrafos³⁰. Los primeros en llegar fueron los ingenieros geógrafos procedentes del Negociado de Geodesia, que

²⁹ Sobre la evolución del levantamiento topográfico del mapa 1:50.000 puede verse Urteaga y Nadal (2001).

³⁰ Véase Nadal y Urteaga (2012).

CUADRO 5. *Desarrollo de la triangulación geodésica de segundo orden en Cataluña. Observaciones definitivas (1910-1919)*

PROVINCIAS OBSERVADAS	INGENIEROS GEÓGRAFOS	AÑOS
Tarragona	Antonio García del Real	1910
	Ricardo Calvo Martínez	1911
	José María Cobos Álvarez	1912
	Juan Mañá Hernández	1913
Lleida	Antonio García del Real	1910
	José María Cobos Álvarez	1912
	Juan Mañá Hernández	1914-1916
	Enrique Meseguer Marín	1917-1918
Barcelona	Juan Mañá Hernández	1916-1917
	Enrique Meseguer Marín	1917
Girona	Enrique Meseguer Marín	1917-1919

Fuente: elaboración propia a partir de Instituto Geográfico y Estadístico: *Triangulación de 2.º orden: Barcelona, Gerona, Lérida y Tarragona*, Libros manuscritos. Archivo geodésico del IGNM.

se encargaban de las observaciones para la triangulación de segundo y tercer orden. Una de las novedades del levantamiento en Cataluña será precisamente la sincronización de los trabajos geodésicos y topográficos.

La observación de la triangulación de segundo orden se inició en Cataluña en 1910. Las operaciones arrancaron en el sur de la provincia de Tarragona (Fig. 5), y casi de inmediato en la provincia de Lleida, evolucionando siempre de sur a norte. En 1916 comenzaron los trabajos en la provincia de Barcelona y al año siguiente en Girona. Las observaciones de la red de segundo orden quedaron concluidas en 1919.

Tomaron parte en estas operaciones cinco ingenieros geógrafos: Antonio García del Real y Manchola, protagonista inicial de los trabajos, Ricardo Calvo Martínez, José María Cobos Álvarez, Juan Mañá Hernández y Enrique Meseguer Marín (cuadro 5). De este colectivo es preciso destacar a dos de ellos: Juan Mañá Hernández y Enrique Meseguer Marín.

Juan Mañá Hernández nació en Castellón de la Plana en 1870. Era oficial de Artillería e ingeniero industrial, e ingresó en el Cuerpo de Ingenieros Geógrafos en 1900. En los trabajos geodésicos acometidos en Cataluña operó sucesivamente en las provincias de Tarragona, Lleida y Barcelona, desde 1913 a 1917. Posteriormente, alcanzó el empleo de inspector general del Cuerpo de Ingenieros Geógrafos, jubilándose en 1942.

Enrique Meseguer Marín nació en Guadalupe (Cáceres) en 1879. Ingresó en la Academia de Ingenieros de

Guadalajara en 1894, alcanzando el empleo de teniente del Cuerpo de Ingenieros en 1898³¹. Entre 1898 y 1901 estuvo destinado en la Comandancia de Ingenieros de Melilla. En ese mismo año ingresó en el Cuerpo de Ingenieros Geógrafos. Meseguer trabajó durante 1917 en la red geodésica de las provincias de Lleida y Barcelona, y desde 1917 a 1919 tuvo la responsabilidad exclusiva sobre la triangulación de la provincia de Girona (Fig. 6). Posteriormente, en 1923, formó parte de la comisión hispano-francesa que negoció el proyecto de enlace geodésico entre España y Marruecos. Fue un experto en meteorología aeronáutica, y llegó a ser director técnico del Instituto Geográfico.

Las observaciones de la red de segundo orden se hicieron con teodolitos de 5'' de apreciación, dando ocho vueltas de horizonte con un ángulo de reiteración de 20°. En el cálculo de los triángulos se prescindió del exceso esférico, por ser inferior a la apreciación de los teodolitos empleados. En el cálculo de las mallas se siguió el siguiente orden: se iniciaba el cálculo de lados por el de un triángulo con un lado común a la red de primer orden, continuándolo hasta alcanzar otro triángulo apoyado en la red superior, sin llegar a compensar las discrepancias. Seguidamente se calculaban las coordenadas de los vértices partiendo en sentidos opuestos desde vértices primarios; los distintos valores hallados para un mismo vértice se promediaban, empleándose tales promedios como valores iniciales para continuar el cálculo de los sucesivos vértices. Según el geodesta Ángel Paladini, debido a este sistema la precisión alcanzada fue escasa, registrándose discrepancias en latitud y longitud para algunos vértices que equivalen a varios metros³².

Los resultados del cálculo de la red de segundo orden quedaron recogidos en dos series de libros manuscritos que se conservan en el archivo del Instituto Geográfico Nacional. Estas series contienen dos libros por provincia, uno relativo a la parte acimutal y otro a la parte cenital. La parte acimutal recoge el estado de las direcciones acimutales, el cálculo de las triangulaciones y las coordenadas geográficas de los vértices. En la parte cenital se refieren el cálculo y la corrección de las distancias cenitales, el cálculo de las diferencias de nivel de los vértices, el cálculo del coeficiente de refracción y el cálculo de altitudes.

Las labores de observación de la red de tercer orden se iniciaron en el sur de Tarragona en el año 1911³³. La

³¹ Expediente personal de Enrique Meseguer Marín. Archivo General Militar de Segovia, leg. GM 330.

³² Paladini (1969: p. 61).

³³ Instituto Geográfico y Estadístico (1914).

triangulación de tercer orden se apoya en la de segundo, e incorpora todos los vértices de órdenes superiores. La observación se hacía con teodolitos de 10", mediante cuatro vueltas de horizonte, verificándose una reiteración entre la segunda y la tercera. En esta triangulación se fijaron todos los pueblos o entidades de población con ayuntamiento propio, usualmente determinando por intersección de dos o tres visuales la torre de la iglesia parroquial. La longitud de los lados oscila entre 5 y 10 kilómetros.

Los cálculos de la triangulación de tercer orden se hicieron por zonas correspondientes a cada una de las hojas del mapa 1:50.000. Los resultados quedaron referidos en tres libros manuscritos por cada hoja: de direcciones acimutales, de distancias cenitales y de reseñas de vértices. En 1912 se completó la observación y cálculo de la hoja 521 (Beceite), una de las más meridionales de Cataluña. Las hojas más septentrionales, correspondientes a la zona del Pirineo de Lleida, fueron observadas entre 1922 y 1924. En la triangulación de tercer orden tomaron parte, entre otros, los ingenieros geógrafos Francisco Bellosillo Pérez, Manuel Cifuentes Rodríguez, Ramón Dorda Valenzuela y Genaro Pérez Conesa.

VI. CONCLUSIONES

Las técnicas de medida geodésicas para la determinación de posiciones precisas ya eran conocidas en España a mediados del siglo XVIII. En esa época, el Gobierno español colaboró con los miembros de la Real Academia de Ciencias de París, que llevaron a cabo una medida de arco de meridiano en el actual Perú. Sin embargo, la primera red geodésica en suelo español no se construyó hasta finales de siglo. También se trató de una medida de arco de meridiano y también vino de manos de los franceses. Su objeto fue la determinación de la unidad de longitud, el metro, que se definió en base a parámetros geométricos ligados al tamaño del planeta. El resultado fue, en Cataluña, una cadena de triángulos desarrollada entre 1792 y 1807 por Pierre Méchain, Jean-Baptiste Biot y François Arago, con el apoyo gubernativo y de diversos ilustrados. La cadena se construyó a lo largo de la franja costera y sirvió de apoyo a todos los trabajos geodésicos posteriores.

Los primeros trabajos, llevados a cabo por académicos ilustrados franceses, tuvieron una finalidad claramente investigadora. El primer proyecto de red geodésica en Cataluña que fructificó, con carácter aplicado, no apareció hasta 1866. Se era consciente de su necesidad, pero las vicisitudes políticas que caracterizaron la pri-

mera mitad del siglo XIX español lo impidieron. Su objetivo era completamente cartográfico: se trataba de la infraestructura necesaria para la consecución, en última instancia, de un catastro geoméricamente correcto, similar al levantado en la mayor parte de los países europeos avanzados.

La red de primer orden en Cataluña fue observada entre 1868 y 1877, coincidiendo con la creación del Instituto Geográfico. Entre los que participaron en el trabajo cabe destacar la contribución, entre otros, del geodesta Joaquín Barraquer Rovira y el ingeniero militar Juan Ruiz Moreno. El trabajo se complementó con la medida de una base geodésica en la zona de Vic que fue dirigida por Carlos Ibáñez e Ibáñez de Íbero en 1877.

Las triangulaciones de segundo y tercer orden no se empezaron a medir hasta 1910, siguiendo el plan de trabajos del levantamiento del avance catastral y el mapa topográfico de España. El segundo orden concluyó en 1919 y en su determinación se ha destacado la participación de los ingenieros geógrafos Juan Mañá Hernández y Enrique Meseguer Marín. Los últimos trabajos del tercer orden terminaron en 1924.

Pese a los avances técnicos logrados en el ámbito de la geodesia, esta red continúa estando operativa y es mantenida por el Instituto Geográfico Nacional. Sin su construcción no habría sido posible el desarrollo de una cartografía y un catastro modernos.

FUENTES Y BIBLIOGRAFÍA

1) FUENTES INÉDITAS

- INSTITUTO GEOGRÁFICO Y ESTADÍSTICO: *Hojas del Mapa de España. Registro de las hojas encuadernadas ingresadas en el Archivo Geodésico*. Ms., IGNM, sig. C-69.
- *Triangulación de 2.º orden. Barcelona. Parte azimutal*. 1 libro manuscrito + 1 mapa, IGNM.
 - *Triangulación de 2.º orden. Barcelona. Parte cenital*. 1 libro manuscrito, IGNM.
 - *Triangulación de 2.º orden. Gerona. Parte azimutal*. 1 libro manuscrito + 1 mapa, IGNM.
 - *Triangulación de 2.º orden. Gerona. Parte cenital*. 1 libro manuscrito, IGNM.
 - *Triangulación de 2.º orden. Lérida. Parte azimutal*. 1 libro manuscrito + 1 mapa, IGNM.
 - *Triangulación de 2.º orden. Lérida. Parte cenital*. 1 libro manuscrito, IGNM.
 - *Triangulación de 2.º orden. Tarragona. Parte azimutal*. 1 libro manuscrito, IGNM.

- *Triangulación de 2.º orden. Tarragona. Parte cenital*. 1 libro manuscrito, IGNM.
- NEGOCIADO DE GEODESIA (1919): *Memoria anual relativa a los trabajos realizados en la campaña de 1919, por los servicios de triangulación geodésica, nivelaciones de precisión y estaciones mareográficas, dependientes del Negociado de Geodesia*. Mecanografiado, IGNM, sig. 5.734.

2) FUENTES IMPRESAS

- ARAGO, François (1854): *Histoire de ma jeunesse*. Kiessling, Schenée et Company, Bruselas.
- (1856): *Astronomie populaire: oeuvre posthume. Tome 3*. Gide et J. Baudry Éditeurs, París.
- BIOT, Jean-Baptiste, y François ARAGO (1821): *Recueil d'observations géodésiques, astronomiques et physiques*. Courcier, París.
- DIRECCIÓN GENERAL DEL INSTITUTO GEOGRÁFICO Y ESTADÍSTICO (1908): *Instrucciones para los trabajos geodésicos de 2.º y 3.º orden*. Imprenta de la Dirección General del Instituto Geográfico y Estadístico, Madrid.
- IBÁÑEZ E IBÁÑEZ DE ÍBERO, Carlos (1869): *Nuevo aparato de medir bases geodésica.*, Imprenta de Ingenieros, Madrid.
- INSTITUTO GEOGRÁFICO (1871): *Noticia sobre el estado de los trabajos en 31 de marzo de 1871*. Instituto Geográfico, Madrid.
- INSTITUTO GEOGRÁFICO Y ESTADÍSTICO (1875): «Trabajos geodésicos de segundo orden, de tercero y topográficos». *Memorias del Instituto Geográfico y Estadístico*, tomo I, pp. 25-40.
- (1881a): «Cadena de costa este». *Memorias del Instituto Geográfico y Estadístico*, tomo III, pp. 127-228.
 - (1881b): «Medición de la base de Vich». *Memorias del Instituto Geográfico y Estadístico*, tomo III, pp. 419-435.
 - (1881c): «Red geodésica para enlazar la base de Vich con el lado Rodós (225)-Matagalls (227) de la general de 1.º orden». *Memorias del Instituto Geográfico y Estadístico*, tomo III, pp. 437-482.
 - (1914): *Estado de los trabajos geográficos en 1913*. Talleres del Instituto Geográfico, Madrid.
- MÉCHAIN, Pierre, y Jean-Baptiste-Joseph DELAMBRE (1806): *Base du système métrique décimal ou mesure de l'arc du méridien compris entre les parallèles de Dunkerque et Barcelone*. Tomo primero, Baudouin, Imprimeur de l'Institut National, París.

3) BIBLIOGRAFÍA

- ALDER, Ken (2003): *La medida de todas las cosas*. Santillana, Madrid.
- BURGUEÑO, Jesús (ed.) (2008): *El mapa com a llenguatge geogràfic. Recull de textos històrics (ss. XVII-XX)*. Societat Catalana de Geografia, Barcelona.
- CAPDEVILLA, Joan (2010): «La geodèsia a Barcelona: protagonistes i treballs», en C. Montaner y F. Nadal (eds.): *Aproximacions a la història de la cartografia de Barcelona*. Ajuntament de Barcelona/Institut Cartogràfic de Catalunya, Barcelona, pp. 163-177.
- CASTRO SOLER, Joaquín (1991): *El proyecto del mapa de España en la segunda mitad del siglo XIX (1853-1900). La red geodésica fundamental y las labores astronómicas*. Tesis doctoral dirigida por Antonio E. Ten Ros, Universitat de Valencia.
- y José Ignacio MURO MORALES (1995): «Carles Ibáñez i Ibáñez de Íbero, Barcelona, 1825-Niça, 1891», en J. M. Camarasa y A. Roca (eds.): *Ciència i tècnica als Països Catalans: una aproximació biogràfica*. Fundació Catalana per la Recerca, Barcelona, pp. 349-380.
- HERNANDO RICA, Agustín (2008): «Reducir la complejidad territorial a la claridad del mapa: Agustí Canelles y su propuesta de reconocimiento de Catalunya (1816)». *Treballs de la Societat Catalana de Geografia*, 65, pp. 417-428.
- MARTÍNEZ UTESA, M. Carmen (1995): *Ciencia y milicia en el siglo XIX en España: el general Ibáñez e Ibáñez de Íbero*. Instituto Geográfico Nacional, Madrid.
- MIER MIURA, Eduardo (1909): Reseña de los trabajos de los ingenieros del Ejército en el Instituto Geográfico, *Memorial de Ingenieros del Ejército*, cuarta época, tomo XXVI, pp. 265-281.
- MONTANER GARCÍA, Maria Carme (2000): *Mapes i cartògrafs a la Catalunya contemporània (1833-1941)*. Rafael Dalmau editor e Institut Cartogràfic de Catalunya, 237 pp.
- MURO, José Ignacio, Francesc NADAL y Luis URTEAGA (1996): *Geografía, estadística y catastro en España, 1856-1870*. Ediciones del Serbal, Barcelona.
- NAVARRO BROTONS, Víctor (1983): «Carlos Ibáñez e Ibáñez de Íbero», en J. M. López Piñero y otros: *Diccionario histórico de la ciencia moderna en España*. Vol. I, Península, Barcelona, pp. 467-471.
- NADAL, Francesc, y Luis URTEAGA (2012): «La primera edició del Mapa Topogràfic d'Espanya a escala 1:50.000. Fulls relatius a Catalunya (1910-1945)», en *Atles topogràfic-històric de Catalunya 1:50.000*. Institut Cartogràfic de Catalunya, Barcelona, pp. 13-64.

- NÚÑEZ DE LAS CUEVAS, Rodolfo (1991): «El Mapa Topográfico Nacional», en Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales: *Historia de la cartografía española*. Real Academia de Ciencias, Madrid, pp. 79-106.
- (2007): «La evolución de la cartografía española desde la creación del Instituto Geográfico», en *150 aniversario de la creación de la Comisión de Estadística del Reino*. Instituto Nacional de Estadística, Madrid, pp. 335-356.
- PALADINI, Ángel (1969): «La red geodésica española». *Boletín de Información del Servicio Geográfico del Ejército*, núm. 5, pp. 45-72.
- (1991): «Notas para la historia del Mapa Topográfico Nacional de España». *Militaria. Revista de Cultura Militar*, núm. 3, pp. 83-100.
- RUIZ MORALES, Mario (2003): *Los ingenieros geógrafos. Origen y creación del cuerpo*. Instituto Geográfico Nacional, Madrid, 286 pp.
- (2005): *Complementos geodésicos y cartográficos*. Universidad de Granada, Granada, 149 pp.
- y Mónica RUIZ BUSTOS (2000): *Forma y dimensiones de la Tierra. Síntesis y evolución histórica*. Ediciones del Serbal, Barcelona, 428 pp.
- TEN, Antoni (2004): «La ciència i la tragèdia, Pierre André Méchain (1744-1804)». *Mètode*, núm. 43, pp. 18-21.
- URTEAGA, Luis (2011): «El profesorado de la Escuela del Catastro (1859-1869)». *CT Catastro*, núm. 71, pp. 29-53.
- y Francesc NADAL (2001): *Las series del Mapa Topográfico de España a escala 1:50.000*. Instituto Geográfico Nacional, Madrid.

