

LA FOTOGRAMETRÍA TERRESTRE EN ESPAÑA (1914-1958)

J. Ignacio Muro Morales

Departamento de Historia y Geografía. Universidad Rovira i Virgili

Luis Urteaga

Departamento de Geografía Humana. Universidad de Barcelona

Francesc Nadal

Departamento de Geografía Humana. Universidad de Barcelona

RESUMEN

La fotogrametría terrestre innovó las técnicas topográficas tradicionales, tanto las de campo, como las de restitución. Ya en el último tercio del siglo XIX empezó a tener aplicaciones prácticas en el levantamiento de las series de los mapas nacionales a gran escala. En España, la fotogrametría terrestre fue tempranamente conocida, tanto en su vertiente teórica como práctica. Sin embargo, hasta la segunda década del siglo XX no empezó a utilizarse de forma masiva, concretamente en el levantamiento y restitución del Mapa del Protectorado de Marruecos y del Mapa Topográfico de España, ambos editados a escala 1:50.000. El ingeniero geógrafo José María Torroja y Miret fue uno de los principales introductores, difusores y organizadores de los trabajos fotogramétricos desde principios de siglo hasta los años treinta. A principios de la década de 1930 la fotogrametría aérea empezaba a desplazar a la terrestre, a la vez que impulsaba una notable automatización en los trabajos de gabinete. Sin embargo, la peculiar situación española en la posguerra hizo que el recurso a la fotogrametría terrestre perdurase hasta el año 1958.

Palabras clave: Fotogrametría terrestre, Mapa topográfico de España, Historia de la Cartografía, José María Torroja y Miret.

RÉSUMÉ

La photogrammétrie terrestre en Espagne (1914-1958). La photogrammétrie terrestre innove les techniques topographiques traditionnelles, autant les de champ que les de restitution. A la fin de XIXe siècle cette technique commença à se servir dans les applications pratiques des levés topographiques à grande échelle. En Espagne elle est connue, autant a la orientation théorique que pratique. Cependant, jusqu'à le deuxième décennie de XXe siècle il ne commença pas a utiliser massivement, dans les levés et restitution de le Carte du Protectorat de Maroc et de la Carte Topographique d'Espagne, a échelle 1:50.000. L'ingénieur géographe José Maria Torroja y Miret fut le principal introducteur des travaux

photogrammetriques, depuis au début du XXe siècle jusqu'à les années trente. Au début de cette décade la photogrammétrie aérienne a commencé à déplacer a la terrestre. Cependant, la particulière situation espagnole dans la après-guerre fit que la photogrammétrie terrestre fût utilisée pas jusqu'à l'an 1958.

Mots clé: Photogrammétrie terrestre, Carte topographique d'Espagne, Histoire de la Cartographie, José María Torroja y Miret.

ABSTRACT

The terrestrial photogrammetry in Spain (1914-1958).- The terrestrial photogrammetry innovated the traditional topographical techniques in the fields operations and the office's works. In the last part of the nineteenth century this technique was used in the national topographic maps. In Spain, the photogrammetrics methods was early known. But until the 1920s had not been used in the massive form. The Topographical Map of Morocco and the Topographical Map of Spain, both at the scale 1:50.000, was an example of this application. The geographer engineer José María Torroja y Miret was the most important introductory of the photogrammetry from the start of the twentieth century to the 1930s. At the beginning of the thirties years the advances of the stereographic photogrammetry produced the aerial stereophotogrammetry and the automation of the office's works. However, the peculiar situation of the Spanish postwar years was the reason to use the terrestrial photogrammetry until 1958.

Key words: Terrestrial Photogrammetry, Topographical Map of Spain, History of Cartography, José María Torroja y Miret.

En la segunda mitad del siglo XIX nuevas técnicas e instrumentos aplicados al levantamiento topográfico y a la restitución de mapas colaboraron en el avance de la producción cartográfica. El desarrollo de la fotografía, la progresiva adaptación de los aparatos empleados en la topografía clásica y las innovaciones en la restitución produjeron importantes cambios en el trabajo topográfico. El empleo de la fotogrametría terrestre, en relieves de complicado acceso, fue un incentivo para emprender tareas cartográficas ambiciosas, y allanó el camino para la utilización de las imágenes aéreas y la automatización del proceso cartográfico. Los servicios cartográficos oficiales fueron los más interesados en esas innovaciones, algunos embarcados en la renovación de sus series nacionales y otros en la culminación de las mismas.

En este trabajo abordamos el desarrollo de la fotogrametría terrestre en España, poniendo el énfasis en su utilización para el levantamiento del Mapa Topográfico entre 1914 y 1958. La aplicación de las técnicas fotogramétricas tuvo diferentes alternativas teóricas, y múltiples soluciones en las aplicaciones. Por ello hemos contextualizado los orígenes de la fotogrametría terrestre desde mediados del siglo XIX, cuando ya era posible reconstruir la topografía a partir de fotografías. Hemos dividido la exposición en cuatro apartados. En el primero damos cuenta de los primeros pasos de la fotogrametría terrestre bajo el método de intersecciones. Aquellas primeras aplicaciones quedaron superadas con la introducción de la visión estereoscópica en aparatos de medición primero, y en los de reproducción fotográfica después, cuestión que se aborda en el segundo apartado. A continuación estudiamos la difusión de la estereofotogrametría en España, identificando a los introductores de la innovación. El último apartado trata específicamente sobre la aplicación de la innovación en el levantamiento del Mapa Topográfico Nacional.

Los primeros pasos de la fotogrametría terrestre: el método de intersecciones

La medición de objetos en dos o tres dimensiones desde fotogramas nacía en el siglo XIX fruto del desarrollo de la geometría descriptiva y de las sucesivas aproximaciones en la obtención de imágenes fotográficas. Con ellas fue posible deducir la situación de los objetos, sus dimensiones, su planta y su alzado. En términos cartográficos significaba la posibilidad de obtener a partir de una imagen la planimetría y la altimetría de una extensión determinada. En otras palabras, la fotogrametría permitía hallar una proyección ortogonal de un terreno, dadas dos proyecciones cónicas del mismo (Torroja, 1908, 1). Desde este principio general pronto se adaptaron aparatos e instrumentos idóneos para realizar levantamientos topográficos, deducidos de dos vistas obtenidas sobre placas verticales, sin necesidad de elaborar penosos itinerarios taquimétricos.

Las primeras aplicaciones de la fotografía al levantamiento de planos vinieron de la mano del ingeniero militar francés Aimé Laussedat (1819-1904), que es considerado el fundador de la fotogrametría terrestre. Con la ayuda de una cámara lúcida o clara, denominada de Wollaston, Laussedat reprodujo en 1849 las características topográficas sobre un plano a partir del dibujo de perspectivas. El resultado fue la reproducción gráfica de la fachada del Hôtel des Invalides de París. Poco tiempo después, y con el objetivo de lograr una mayor definición de los contornos y accidentes del terreno empleó una cámara oscura. Esta vez, de la intersección de tres vistas colocadas sobre otro plano, obtuvo el plano del fuerte de Vincennes a escala 1:2.000 en papel transparente.

Estas primeras tentativas ya denotaban serios problemas para su aplicación en los levantamientos topográficos. El dibujo de perspectivas a mano era un proceso lento y obviaba detalles importantes para el trabajo cartográfico. Su precisión no podía ser muy elevada, dado que las cámaras utilizadas por Laussedat no eran capaces de efectuar mediciones. La invención del daguerrotipo permitió al ingeniero francés diseñar la primera cámara de aplicación fotogramétrica. Posteriormente, en 1859, la empresa francesa Brunner realizaba los primeros instrumentos topográficos que incorporaban mecanismos de reproducción fotográfica (Blachut, 1987). Estos esfuerzos combinados dieron lugar a la utilización del método metrofototopográfico para el levantamiento de mapas. A comienzos de la década de 1860 el Ministerio de la Guerra francés encargaba a Laussedat el levantamiento topográfico de una extensión de 200 Ha de la villa de Buc, próxima a Versalles, a escala 1:2.000. El plano resultante fue deducido de un total de ocho imágenes fotográficas, con un trabajo de gabinete de cuatro días. Con este levantamiento Laussedat demostró la posibilidad de reconstruir la topografía de un territorio a partir de vistas fotográficas. Poco después se procedía en Francia a la organización de una unidad fototopográfica en el Cuerpo de Ingenieros Militares.

A finales de la década de 1850 se realizaban las operaciones de medida de la base geodésica española de Madrilejos. Laussedat llegó comisionado por su país, y entró en contacto con Carlos Ibáñez y otros geodestas, entre los cuales figuraba el presidente de la sección de ciencias exactas de la Academia de Ciencias madrileña Antonio Terrero y Díaz-Herrero. En 1863 Antonio Terrero, que era profesor de astronomía y geodesia de la Escuela de Estado Mayor del Ejército, propuso un concurso sobre la utilización de imágenes fotográficas en la elaboración de mapas topográficos. El concurso fue ganado por Aimé Laussedat, con el trabajo realizado en las cercanías de Versalles. El propio geodesta español había desarrollado este tema de forma teórica, dando lugar a uno de los primeros fundamentos de la fototopografía a través de la identificación de puntos o el establecimiento de

las relaciones entre el objeto y sus fotografías (Terrero, 1862). Las autoridades españolas nombraron en 1863 una comisión encargada del estudio en el extranjero de las aplicaciones de la fotografía a la topografía, dirigida por el comandante de Estado Mayor Pedro de Zea. En su informe Zea propuso la organización de brigadas topográficas militares que aplicaran la fotografía al levantamiento y reproducción de planos (Torroja, 1913b).

El método de intersecciones era eficiente para objetos de extensión reducida, como los proyectos de ingeniería. Por el contrario, para la resolución de los miles de puntos de un mapa topográfico planteaba serias dudas. El método metrofotográfico derivado de los trabajos de Laussedat tardó algunos años en ser aplicado en extenso. Los primeros ensayos fotogramétricos tuvieron un carácter aislado y experimental, y fueron realizados con la intención de comparar los costes, el tiempo y la eficacia del método con los procedimientos tradicionales. Los países con extensas áreas alpinas fueron los primeros que realizaron dichos ensayos. En Francia la sección fototopográfica dirigida por el capitán de ingenieros Javary ensayó los nuevos métodos desde 1863 en el macizo de los Vosgos. El Instituto Geográfico Militar italiano realizó en los Alpes los primeros trabajos fotogramétricos en 1878, dirigidos por Michele Monzi. En Prusia nació en 1885 el Real Instituto de Fotogrametría, con el objeto de reproducir monumentos y estructuras arquitectónicas a partir de fotografías. A finales de siglo, los servicios cartográficos de Suiza, de Austria y de Canadá incorporaron la fotogrametría terrestre en el levantamiento de sus mapas topográficos (Blachut, 1989, 32).

En nuestro país se llevaron a cabo experiencias aisladas que involucraron a topógrafos e ingenieros, así como a los servicios cartográficos oficiales. Es de destacar la publicación en 1876 de unos estudios sobre la aplicación de la fotografía a la topografía del oficial de telégrafos Pedro de Borja y Alarcón. El Depósito de la Guerra, afecto al Estado Mayor, y la Brigada Topográfica de Ingenieros del Ejército también tomaron en consideración estas técnicas, aunque no iban a tener continuidad inmediata. En el año 1886 el capitán de Estado Mayor Luis Torres Quevedo construía una cámara fototopográfica o fotogrametro, con objeto de llevar a cabo los trabajos de ensayo que se proponía realizar el Depósito de la Guerra. Con este instrumento, Torres Quevedo levantó un plano a escala 1:1.000 de Vista Hermosa, en los alrededores de Madrid (Torroja, 1913b).

También los ingenieros civiles realizaron levantamientos fotogramétricos, como el ingeniero de minas Juan Pié y Allué, director de las minas de Bédar (Almería) en 1894, o los ingenieros agrónomos Ciriaco de Iriarte y Leandro Navarro en los alrededores de Madrid y en el Moncayo en 1899.

En los primeros años del siglo XX se efectuaron las primeras pruebas oficiales para comparar la viabilidad de la fotogrametría terrestre en relación con la topografía clásica. El primero en llevarlo a cabo fue el Depósito de la Guerra, de la mano de Alejandro Más y Zaldúa (1841-1915), teniente coronel de Estado Mayor, profesor de la Escuela Superior de Guerra, destacado cartógrafo y diseñador de instrumentos topográficos. Más y Zaldúa fue jefe de la sección geográfica del Depósito de la Guerra y uno de los introductores de la fotogrametría terrestre en España. En 1900 levantó por medio de esta técnica un plano de 6 km² del barrio barcelonés de Sant Andreu de Palomar (Barcelona), al que añadió los resultados obtenidos por el método taquimétrico tradicional. Un año después el Cuerpo de Estado Mayor realizaba, bajo la dirección de Más, levantamientos fototaquimétricos en los alrededores de Ribes de Freser (Gerona), relacionados con las labores topográficas de la frontera hispano-francesa. Estos trabajos dieron lugar a un plano de las proximidades del Coll de Toses a escala 1:20.000, sobre una superficie de 100 km² y con más de 10.000 puntos de detalle (Más y Zaldúa, 1902 y 1912).

El Instituto Geográfico y Estadístico realizó su propio ensayo en 1902. Para ello escogió el término municipal de Otero de los Herreros (Segovia). Una brigada a las órdenes del ingeniero geógrafo José Galbis y Rodríguez (1868-1952) se encargó de la parte fotogramétrica. Mientras, otra brigada dirigida por el ingeniero geógrafo José Borús realizaba el levantamiento por procedimientos clásicos, con el fin de comparar ventajas e inconvenientes de uno y otro sistema. En un periodo de 60 días, un ingeniero y un topógrafo tomaron en el campo los datos de 4.332 Ha, a una media de 70 Ha por día. El dibujo del plano a escala 1:25.000 con todo el trabajo de gabinete fue terminado en cuatro meses. Las conclusiones, publicadas en 1908, indicaban que el coste económico fue de 1.346 pesetas, no superior al de los métodos clásicos. Para el ingeniero geógrafo José Galbis la exactitud del método era similar a la resultante de la utilización de otros métodos, cuando el terreno permitiera su aplicación en buenas condiciones. Galbis adelantaba una opinión prudente sobre el alcance real de los métodos fotogramétricos en su aplicación al levantamiento del mapa topográfico español: no podía sustituir por completo los procedimientos de la topografía clásica, ya que el levantamiento de la carta topográfica incluía el establecimiento de los límites jurisdiccionales y la determinación de las masas de cultivo, operaciones en las que la fotografía resultaba de escasa utilidad (Urteaga y Nadal, 2001).

La fotogrametría terrestre derivada del método de intersecciones de Laussedat quedó estancada, debido a varias dificultades insalvables que no permitían una diferencia muy destacada con los resultados de la topografía clásica. Sin duda era de gran utilidad en territorios muy abruptos y de difícil acceso. En éstos la fotogrametría de intersecciones ahorra tiempo, pues restringía el número de operaciones, aspecto de gran importancia en relieves accidentados. Con la obtención de fotografías, en los trabajos de gabinete era posible elegir los detalles planimétricos y de nivelación sin tener que volver al campo. Las imágenes fotográficas daban una gran versatilidad a la representación topográfica, pues permitían deducir planos a diversas escalas sin realizar nuevos levantamientos. Sin embargo, el método de Laussedat tenía un defecto infranqueable, resuelto de forma teórica, pero no gráfica. Para que la intersección que determina cada nuevo punto fuera exacta, había que establecer bases bastante grandes. La distancia entre las bases originaba diferencias de los aspectos con que cada punto aparecía en las fotografías, así como dudas y confusiones, reflejadas como graves imperfecciones en su restitución (Torroja, 1925, 12). Podemos hacernos una idea de la lentitud del proceso si pensamos en los miles de puntos necesarios para la restitución cartográfica de las fotografías.

En sus primeras aplicaciones cartográficas la fotogrametría terrestre quedó atrapada en la fase de restitución. En los primeros años del siglo XX se realizaron importantes contribuciones técnicas hasta lograr la automatización en la obtención de los datos métricos de las fotografías, por medio de la visión estereoscópica.

La fotogrametría estereoscópica

A finales del siglo XIX existía un amplio consenso en apreciar que los levantamientos fotogramétricos ofrecían resultados más precisos, en áreas de montaña, que los métodos clásicos. Sin embargo, su empleo no se había generalizado por dos causas: en primer lugar los operadores debían estacionar las cámaras en lugares que facilitasen la obtención de buenas vistas panorámicas. Para ello las zonas montañosas eran favorables, mientras que las zonas llanas o de vegetación densa debían levantarse con los métodos taquimétricos. En segundo lugar, las operaciones de gabinete para efectuar el dibujo del plano eran lentas y laboriosas.

Los aparatos de campo sobre los que se basaba el método de intersecciones contenían objetivos ortoscópicos que proporcionaban imágenes de proporciones correctas, capaces de producir perspectivas. En esa línea, el ingeniero francés Héctor de Groussilliers ideó en 1893 un modo de obtener mediciones directas a través del teodolito. Poco tiempo después, en 1899, la empresa alemana dedicada a la construcción de instrumentos de precisión Carl Zeiss de Jena aplicaba la visión estereoscópica a la medición de distancias por medio de telémetros estereoscópicos, diseñados por su colaborador científico y jefe de la sección de aparatos de medida Carl Pulfrich (1858-1927). Para la obtención de fotografías se diseñaron fotográmetros, capaces de nivelar una cámara montada sobre un eje vertical, que proporcionaban una distancia focal conocida e invariable. Después aparecieron los primeros fototeodolitos, que ahorraban aparatos topográficos y permitían efectuar las observaciones necesarias para medir las bases y las triangulaciones. Para un levantamiento fototopográfico reducido podían servir dos imágenes. Para el caso de levantamientos más ambiciosos era necesario aumentar su número. Las tradicionales miras eran innecesarias, pues con una simple lectura se obtenía la distancia, simplificando la determinación de puntos. En el gabinete se restituían las placas directamente sobre los negativos obtenidos en el campo de forma estereoscópica.

Con la posibilidad de la visión estereoscópica el método fotogramétrico empezó a simplificar las tareas cartográficas. La visión binocular permitía obtener distancias y apreciar en relieve los objetos. También modificó los principios fotogramétricos. Permitió sustituir la intersección gráfica anterior por la coincidencia óptica con cada uno de los puntos del terreno que en éste se contempla. En cada par de fotografías o placas verticales debían aparecer al menos tres puntos conocidos de forma precisa y a los cuales referir las bases, a través de una triangulación trigonométrica.

Con todo, fue en los trabajos de gabinete donde las innovaciones fueron de mayor calado, puesto que condujeron a una restitución continua, de gran interés para series de mapas a gran escala (Blachut, 1987, 44). Hasta entonces, la lectura de las placas o par estereoscópico exigía la resolución de numerosas ecuaciones para el cálculo de las coordenadas, y su repetición para miles de puntos constituía una tarea laboriosa (Torroja, 1913a). La empresa Zeiss contruyó en 1901 un estereocomparador capaz, a partir de la coincidencia óptica, de obtener los datos de las tres coordenadas de los puntos y, por lo tanto, de restituir un plano a partir de ellos. Este estereocomparador diseñado por Pulfrich fue el origen de nuevos desarrollos en los instrumentos fotogramétricos de medición y restitución. Pocos años después fueron desarrollados métodos analíticos que facilitaron esas tareas, convirtiendo el estereocomparador en un poderoso y parcialmente automatizado aparato estereorestituidor. El propio Pulfrich diseñó un tablero que permitía representar los puntos por interpolación, permitiendo el dibujo de curvas de nivel, como en los métodos topográficos corrientes (Torroja, 1920b).

La automatización del proceso, combinación simultánea de la óptica y la mecánica, simplificó las tareas de gabinete, y permitió la utilización de placas no verticales para la restitución cartográfica. Una vez resuelta esta cuestión los institutos cartográficos abandonaron sus reticencias iniciales, con el fin de proporcionar mayor eficacia y exactitud a los levantamientos en terrenos montañosos. También fue un aliciente para que los ingenieros y científicos ligados a la fotogrametría organizaran empresas privadas, estrechamente asociadas a la explotación de estas innovaciones (Montaner, 2000).

La trayectoria del ingeniero militar austriaco Eduard Ritter von Orel (1877-1941) resume los avances en las tareas de gabinete del método estereoscópico en fotogrametría.

Empleado en el Instituto Geográfico Militar austro-húngaro desde 1901 a 1912, trabajó en tareas fotogramétricas de las áreas alpinas desde el año 1905. En esos años, los servicios cartográficos austriacos ensayaban y comparaban los métodos estereoscópicos con los de la fotogrametría ordinaria. Von Orel consideraba que la monotonía en la restitución de los datos derivados de las lecturas del estereocomparador entorpecía la eficacia del proceso. En 1907 empezó a trabajar en la determinación de las distancias de forma automática, a través de medios mecánicos. Un año después, el también capitán de ingenieros inglés Frederick Vivian Thompson (1880-1917) y el mismo von Orel diseñaron, por separado, sendos estereorestituidores automáticos para ser usados con pares de fotografías terrestres (Burkhardt, 1987, 108). Los primeros diseños del austriaco fueron construidos en los talleres del Instituto Geográfico en Viena ese mismo año.

Con el fin de conseguir líneas de contorno de forma automática, von Orel solicitaba en abril de 1908 a la empresa Zeiss colaboración para la construcción del primer estereoautógrafo. Terminado en 1909, incluía un mecanismo de dirección para las distancias. El mismo Pulfrich incorporó un estereocomparador y un brazo que permitía la determinación directa de elevaciones de punto. El resultado fue un instrumento de 1.700 Kg de peso y un precio que, según las fuentes, oscilaba entre los 25.000 y 30.000 marcos. En el año 1911 se construía el tercer modelo de estereoautógrafo, con capacidad para restituir gráficamente un plano topográfico sin necesidad de cálculo ni operación auxiliar. Como novedad, este modelo permitía la utilización de placas fotográficas oblicuas (Torroja, 1913c). Una de las primera aplicaciones consistió en la restitución de las fotografías para el mapa de Austria-Hungría a escala 1:25.000. El diseño de Orel inició una carrera en la construcción de aparatos restituidores, de los cuales, tras la I Guerra Mundial, aparecieron los estereoplanígrafos y los autocartógrafos (Burkhardt, 1987).

Con la restitución automática de las fotografías se abrieron posibilidades de aplicación en trabajos que precisaban un gran detalle topográfico, como los derivados de las necesidades de la ingeniería civil. El mismo von Orel pidió en 1912 el pase a la reserva para dedicarse particularmente a explotar la patente de su estereoautógrafo. Ese mismo año fundaba en Viena la empresa privada Stereographik: Stereophotogrammetrisches Vermessungs Institut, dedicada a realizar levantamientos a gran escala de proyectos de obras públicas y encargos particulares. El ingeniero austriaco se ocupó del levantamiento del macizo del Dachstein (Estiria) a escala 1:25.000, encargado por el Club Alpino austro-alemán. A consecuencia de la Primera Guerra Mundial la compañía austriaca cesó en sus actividades. Durante dicho conflicto Orel fue nombrado jefe de los servicios fotogramétricos del Instituto Geográfico Militar austro-húngaro. Con la desintegración del imperio del Danubio, Orel acabó sus días como ciudadano italiano, desvinculado de las tareas y negocios fotogramétricos. Consecuencia directa de la organización de la empresa Stereographik de Viena fueron otras sociedades y empresas privadas en otros países, federadas bajo la dirección de Orel y que adquirieron sus instrumentos y métodos (Torroja, 1920a). Empresas similares se constituyeron por ejemplo en España o en Francia (cfr. Torroja, 1920a y Ollivier, 1929).

La estereofotogrametría terrestre en España

Las posibilidades de aplicación de la estereofotogrametría terrestre al levantamiento de mapas topográficos fueron pronto conocidas en España. En marzo de 1911 el Ministro de la Guerra encargaba al teniente coronel de Estado Mayor Alejandro Más y Zaldúa la realización de un viaje de instrucción por Alemania, Austria e Italia con objeto de estudiar los

métodos modernos de levantamiento de planos. El resultado de esas averiguaciones fueron sus *Aplicaciones topográficas de la fotografía* (Más y Zaldúa, 1912). En las primeras páginas de esta obra, Más y Zaldúa señala la conveniencia de que los encargados de ordenar y dirigir los trabajos topográficos adoptaran la estereofotogrametría como método propio, por las «abundantes zonas montañosas de España», y «por las economías alcanzadas con su aplicación». De esta forma, podría disponerse «en muy corto tiempo de planos que de otro modo no se tendrían nunca» (Más y Zaldúa, 1912, 8). La obra concluía con unas sugerencias directas al Depósito de la Guerra: compra de material adecuado y personal práctico para su aplicación en las campañas del Riff, puesto que «permitiría (...), sin necesidad de pisar terreno no dominado, sin llamar la atención del enemigo y sin riesgo para los observadores, levantar el plano de todas las zonas visibles hasta 10 ó 12 Km de distancia a escala 1:20.000» (Más y Zaldúa, 1912, 97).

Las reflexiones de Más y Zaldúa fueron premonitorias. Poco tiempo después se realizaban los primeros ensayos comparativos, se organizaban secciones fotogramétricas específicas y ya en la década de 1920 se lograba que la fotogrametría terrestre fuera común en relieves accidentados, tanto de la Península como del Protectorado de Marruecos. En plena Primera Guerra Mundial y con fecha de 15 de mayo de 1915 se ordenaba que el Depósito de la Guerra ensayara el método fotoestereoscópico y adquiriese el instrumento diseñado por el propio Más poco antes de su fallecimiento. No fue posible en ese momento, pero tanto sus recomendaciones, como sus previsiones de aplicación de la fotogrametría acabaron concretándose durante la Dictadura de Primo de Rivera, período marcado por la militarización de la cartografía española (Urteaga y Nadal, 2001).

El Instituto Geográfico, después de los ensayos oficiales de principios del siglo XX, tomó la decisión de aplicar, a partir de 1914, de forma extensa la fotogrametría terrestre en los levantamientos relacionados con el Mapa Topográfico. El personaje clave en esa decisión fue José María Torroja y Miret (1884-1954). Hijo del catedrático de Geometría Descriptiva de la Universidad Central (Madrid) Eduardo Torroja Caballé, estudió en la Facultad de Ciencias de esa universidad, sección de exactas, licenciándose en 1904, y doctorándose en 1907 con una tesis sobre el fundamento teórico de la fotogrametría (Torroja, 1911), tema sugerido por su padre. En los últimos años de la carrera simultaneó estos estudios con los cursos de la Escuela Especial de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, que terminaría en 1909, con el número uno de su promoción. En 1908 ya era colaborador de la revista *Internationales Archiv für Photogrammetrie* de Viena, embrión de la Sociedad Internacional de Fotogrametría fundada en 1910 por el profesor de geodesia austriaco Eduard Dolezal. Desde entonces y hasta la guerra civil española Torroja y Miret fue uno de los principales impulsores de la fotogrametría en España, desde el plano técnico y organizativo.

La difusión de la fotogrametría en España no estuvo exenta de obstáculos. En unas conferencias impartidas en el año 1924 en la Sociedad Geográfica de Madrid, Torroja comentaba esas dificultades afirmando: «al juzgar mi memoria doctoral, que versaba sobre fotogrametría, uno de los jueces, interpretando quizá, el sentir de los restantes, alababa su parte teórica, pero lamentaba que a ella hubiera unido algunos capítulos de aplicación; porque pensar —decía— que de una fotografía pequeña, imagen deformada de un terreno, pudieran deducirse con exactitud las coordenadas de cada uno de los puntos de éste, era verdaderamente una utopía (...). Cuando —hace de ello trece años— al presentar unas cuartillas sobre asuntos fotogramétricos, para su publicación en la *Revista de Obras Públicas*, su director, recientemente fallecido D. Manuel Maluquer, velaba con frases corteses el juicio

que le merecían y que, años más tarde me confesó, condensado en estas palabras: ‘cuántos modos hay de perder el tiempo!..’» (Torroja, 1925, 82-83).

Desde luego Torroja no perdió el tiempo. Una vez acabada la carrera de ingeniería en 1909, y comisionado por la Escuela de Ingenieros de Caminos, visitó algunos países europeos, estudiando temas de ingeniería y se especializó en la aplicación de la fotografía al levantamiento de planos topográficos. Ese mismo año visitó el Instituto Geográfico Militar en Viena y fue atendido por von Orel. Pensionado por la Junta de Ampliación de Estudios volvió a tomar contacto con las posibilidades topográficas de la fotogrametría terrestre, que pronto tendría la oportunidad de aplicar en nuestro país. En el año 1912 ingresó en el Instituto Geográfico, pasando a formar parte del Cuerpo de Ingenieros Geógrafos. Al año siguiente fue nombrado auxiliar técnico del Laboratorio de Automática (Mecánica Aplicada) dirigido por Leonardo Torres Quevedo (1852-1939) y del que en 1933 llegaría a ser subdirector. Allí trabajó durante cinco años dedicándose a la construcción y ensayo de aparatos que luego fueron destinados a la Dirección General de Obras Públicas y al Instituto Geográfico y Estadístico. Torroja fue el organizador y Jefe del Servicio Fotogramétrico del Instituto Geográfico entre los años 1913 y 1930, permaneciendo como ingeniero geógrafo hasta 1936.

La figura de Torroja y Miret destaca también por su labor en las instituciones científicas del primer tercio del siglo. En 1920 ingresó en la Real Academia de Ciencias de Madrid con un discurso sobre las posibilidades de la fotogrametría aérea. En 1921 era ya miembro de la Junta Directiva de la Real Sociedad Geográfica de Madrid, de la que en 1929 sería nombrado secretario perpetuo. En 1926 ocupó la vicepresidencia de la Junta para la Ampliación de Estudios e Investigaciones Científicas. Asimismo, fue miembro destacado de la Junta de la Asociación Española para el Progreso de las Ciencias. En 1940 fue nombrado interventor general del Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Desde entonces y hasta su jubilación desempeñó el cargo de presidente del Consejo de Obras Públicas, desde el que estuvo ligado, como vocal, al Consejo Superior Geográfico hasta su muerte en 1954.

Un capítulo destacado de su biografía corresponde a los aspectos organizativos de la fotogrametría. En 1916 fundaba una empresa privada denominada Sociedad Estereográfica Española S.A., dedicada a levantamientos fotogramétricos para proyectos de ingeniería, parcelarios, urbanísticos, inicialmente de carácter terrestre y en la década de 1920 ya aéreos. Esta iniciativa empresarial constituye el embrión de otras empresas nacidas en aquella época, como la Compañía Española de Trabajos Fotogramétricos Aéreos, S.A. (CETFA) de la mano del oficial de artillería y piloto Julio Ruiz de Alda (Fernández, 2000). Tras la Guerra Civil surgieron otras, como la Compañía Aerotécnica S.A., o la Empresa de Trabajos Aéreos y Fotogramétricos. En mayo de 1927 nacía la Sociedad Española de Estudios Fotogramétricos, presidida por Torroja y formada por un patronato en el que estaban representados los principales organismos científicos y técnicos del Estado relacionados con la aplicación de la fotografía al levantamiento de planos y que se prolongó hasta 1936.

Tanto José María Torroja y Miret como Alejandro Más y Zaldúa contribuyeron a la difusión y aplicación de los métodos fotogramétricos terrestres en el levantamiento de mapas topográficos. Los trabajos de Más y Zaldúa quedaron truncados en 1915 a raíz de su muerte. Sin embargo, los de Torroja y Miret tomaron un nuevo impulso a partir de 1914. Las condiciones y el desarrollo del levantamiento del Mapa Topográfico de España beneficiaba, en parte, la adopción de estas innovaciones.

La fotogrametría terrestre en el levantamiento del Mapa Topográfico Nacional

A principios del siglo XX el desarrollo de la cartografía topográfica oficial española ofrecía un triste panorama. El levantamiento del Mapa Topográfico Nacional a escala 1:50.000, que se había iniciado en 1858, estaba todavía muy lejos de concluirse. En 1910, tras más de medio siglo de trabajos topográficos, se había completado la planimetría para 25 provincias, cubriendo la mitad meridional del país, con una extensión total ligeramente superior a los 33 millones de hectáreas. Las operaciones de nivelación, necesarias para obtener la altimetría, iban mucho más retrasadas, limitándose a menos de un tercio del territorio peninsular. No se habían emprendido trabajos topográficos de ningún tipo en las islas Canarias, ni en el archipiélago balear. Sobre un total previsto superior a las 1.100 hojas, el número de hojas publicadas se reducía a 142. El retraso de la cartografía topográfica española, respecto a los países de nuestro entorno, era patente. Las causas de este retraso, que hemos examinado en otro lugar (cfr. Urteaga y Nadal, 2001) son complejas, pero entre ellas figura el hecho de que las técnicas y el instrumental aplicado para realizar el levantamiento topográfico habían permanecido estancados desde 1870. La aplicación de la fotogrametría terrestre aparecía como una de las posibilidades para agilizar los trabajos topográficos. En este apartado exponemos la contribución de la fotogrametría terrestre a la formación del Mapa Topográfico Nacional.

Cuando Torroja y Miret ingresó en el Instituto Geográfico en 1912 era ya un experto en los contenidos teóricos y prácticos de la estereofotogrametría. Había trabado relación con profesionales de la cartografía de otros países y conocía la capacidad de la industria de precisión para encarar levantamientos topográficos de entidad. En el año 1913 Torroja afirmaba que el levantamiento de la carta general de la nación estaba a punto de alcanzar las estribaciones del Pirineo, y que tanto los ingenieros geógrafos, como los oficiales de Estado Mayor luchaban con grandes dificultades en sus trabajos cartográficos del Norte de África (Torroja, 1913a, 8). Según Torroja, bastaban unos cuantos aparatos fotográficos para abreviar el trabajo de campo. Sin duda era una visión excesivamente optimista, como los hechos pondrían, con los años, de manifiesto. El director del Instituto Geográfico, Ángel Galarza, mandó iniciar el 20 de noviembre de 1913 los primeros ensayos fotogramétricos bajo el método estereoscópico. Dadas las dificultades presupuestarias del momento, Torroja diseñó los aparatos de campo que fueron construidos en el Laboratorio de Mecánica Aplicada. El 3 de abril de 1914 se constituía una brigada fotogramétrica para realizar el ensayo en la vertiente SE de la Sierra de Guadarrama, en los términos municipales de San Lorenzo de El Escorial, Guadarrama, Los Molinos y Collado Mediano, entre Zarzalejo y Collado Mediano (Torroja, 1915). El terreno, montañoso, ofrecía una amplia variedad de condiciones para su aplicación.

El objetivo principal era determinar el rendimiento que en cada caso podría obtenerse. Este trabajo fotogramétrico permitió obtener un plano fruto de la restitución de doce fotografías, con un área dibujada de 8.000 Ha y con un rendimiento medio de 666 Ha por base. El alcance máximo fue de 9 Km (con una media de 5,5 Km por base) y los trabajos de campo se prolongaron durante 75 días. Ello suponía unas 3.000 Ha al mes para una brigada compuesta por un ingeniero y un topógrafo. El resultado proporcionó un rendimiento menor que el alcanzado por trabajos similares en los Alpes. Aún así, contabilizados los trabajos de gabinete, el ensayo arrojó un ahorro económico por Ha del 40 por ciento con respecto a los métodos taquimétricos (Torroja, 1915, 6-7).

Ya en el gabinete, las placas se observaron a través del estereocomparador de Pulfrich, deduciendo las coordenadas construidas gráficamente con un estereógrafo diseñado por el

ingeniero de minas e ingeniero geógrafo Antonio Torroja y Miret, con capacidad para obtenerlas de placas oblicuas o no normales (Torroja, A. 1915). A continuación se efectuaba el dibujo del plano a escala 1:25.000, con curvas de nivel equidistantes 10 metros. El trabajo de restitución ahorra el laborioso cálculo de coordenadas, pero aún estaba lejos de la automatización. El estereoautógrafo de Orel-Zeiss era excesivamente gravoso, incluso para el Instituto Geográfico. El inicio de las hostilidades bélicas en el centro de Europa tampoco favorecía su compra.

Tras este ensayo, la dirección del Instituto Geográfico decidió emplear el método estereofotogramétrico «en los casos que a ello se prestaran» para trabajos en zonas montañosas, alternando con los no fotográficos (Torroja, 1915, 7). Desde entonces hubo en el Instituto una brigada fotogramétrica, dirigida por José María Torroja. Sin embargo, hasta el año 1928 no se reforzó este servicio.

La aplicación de la fotogrametría terrestre en el mapa topográfico español pasó por tres etapas, cada una con lógicas y ritmos diferentes. En la primera etapa, que abarca desde 1914 a 1926, las labores fotogramétricas se extendieron sobre un conjunto de 17 hojas. Desde 1926 hasta el estallido de la Guerra Civil, se registra un sensible impulso de la fotogrametría, completándose en ese periodo un total de 68 hojas. En la tercera etapa, desde 1939 hasta 1958 se realizaron otras 48 hojas por fotogrametría terrestre. En conjunto, los trabajos de fotogrametría terrestre abarcaron algo más de 130 hojas del mapa de España, lo que supone el 12 % del total (ver figura 1).

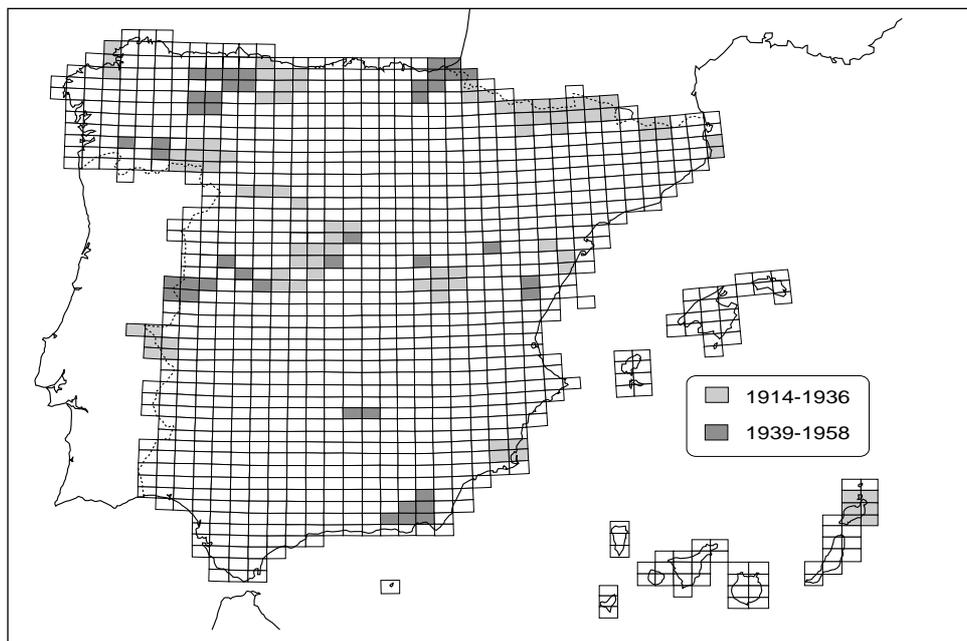


FIGURA 1. Hojas del Mapa Topográfico de España (escala 1:50.000) en las que se realizaron trabajos de fotogrametría terrestre. Fuente: Elaboración propia a partir de Martínez Cajén, 1929; García-Baquero, 1930; Lamo Peris, 1931; Instituto Geográfico y Catastral, 1934; Consejo Superior Geográfico, 1951; Naval Galindo, 1956; Sastre Domingo, 1995.

En la primera etapa el Instituto Geográfico dispuso de una única brigada fotogramétrica. Las expectativas abiertas por la técnica fotogramétrica quedaron así defraudadas por la escasez de personal y medios. Un aspecto crucial de este periodo es que la unidad espacial del levantamiento siguió siendo la misma que para la topografía clásica: el término municipal.

Los trabajos se extendieron por la Sierra del Guadarrama (provincias de Segovia y Ávila), la de Gredos, el valle del Tiétar y la Sierra Paramera (provincia de Ávila) y el Maestrazgo (provincia de Castellón). Poco después se iniciaron las labores fotogramétricas en los Picos de Europa. A partir de 1923 se abordaron las primeras hojas de la Cordillera Cantábrica (hojas 30 y 54). Concretamente, entre 1914 y 1927 se levantaron un conjunto de 55 términos municipales (Martínez Cajén, 1929). En todos los casos el levantamiento exigió trabajos complementarios de topografía ordinaria para el relleno de lagunas, la obtención de los planos de población y la determinación de los perímetros municipales y otros detalles planimétricos, como la determinación de las masas de cultivos, que debían aparecer en el mapa y que las fotografías no permitían obtener.

A partir de 1926, y hasta 1936, se produjo un notable impulso de los trabajos fotogramétricos. El aspecto más destacado de este periodo es la participación activa del Depósito de la Guerra en el levantamiento del Mapa Topográfico Nacional. En el aspecto técnico también hubo cambios. Los trabajos fotogramétricos dejaron de realizarse por municipios, pasando a efectuarse por áreas continuas, correspondientes a las hojas de la carta topográfica.

El desarrollo de la Gran Guerra había puesto de manifiesto la importancia de la cartografía topográfica de gran escala para la dirección de las operaciones militares (Heffernan, 1996). Además de los usos cartográficos, la fotogrametría estereoscópica desempeñó un papel destacado en la fijación de puntos artilleros del campo enemigo (Lüscher, 1926, 111). En España, la Dictadura de Primo de Rivera impulsó una redefinición del proyecto cartográfico en función de las necesidades militares. Debe tenerse en cuenta que a la altura de 1923 se había publicado algo menos de la cuarta parte de las hojas previstas del mapa topográfico español.

En materia cartográfica la Dictadura de Primo de Rivera decidió dar mayor protagonismo al Cuerpo de Estado Mayor. Su participación en el levantamiento del mapa topográfico, en esta etapa, duró hasta 1931. A los cartógrafos del Depósito de la Guerra se les encomendó, en exclusiva, el levantamiento de las islas Baleares, el archipiélago canario y el Protectorado español de Marruecos (Nadal, Urteaga y Muro, 2000).

Las necesidades cartográficas del conflicto colonial en Marruecos colaboraron de forma importante en la utilización masiva de las técnicas fotogramétricas terrestres. Entre 1924 y 1930 fueron restituidas más de medio millón de Ha de superficie, correspondientes al Mapa del Protectorado de Marruecos a escala 1:50.000 (ver figura 2). Dentro de la Península, los cartógrafos militares pasaron a realizar la altimetría de algunas hojas correspondientes a las provincias de Zamora, Valladolid, Cáceres y Murcia, de las que ya existía planimetría. También se les asignó el levantamiento topográfico completo de algunas hojas de la cordillera pirenaica y de Galicia, en las cuales nada se había realizado por parte del Instituto Geográfico.

El cuadro 1 muestra las cifras de la superficie restituida por fotogrametría terrestre entre los años 1926 y 1933. Los fotogrametristas del Instituto Geográfico y del Depósito de la Guerra restituyeron más de 700.000 Ha, con una media de 90.000 Ha anuales. Más de la mitad de los trabajos se extendieron por los Pirineos centrales de Huesca y Lérida. En la etapa de colaboración de los oficiales de Estado Mayor (1926-1930) la superficie restituida ascendió a 430.000 Ha. Entre 1931 y 1933 las brigadas del Instituto Geográfico restituyeron algo menos de 300.000 Ha.

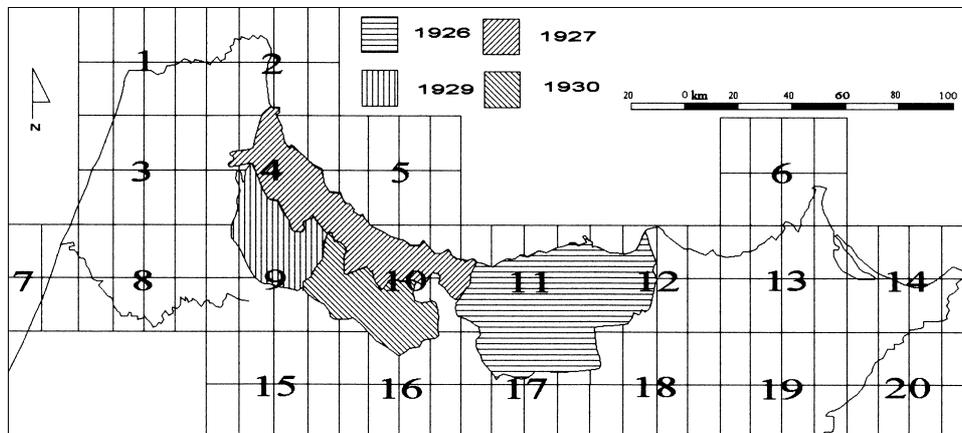


FIGURA 2. Trabajos fotogramétricos realizados entre 1926 y 1930 por el Depósito de la Guerra para el Mapa del Protectorado de Marruecos, Escala 1:50.000. Fuente: Elaboración propia a partir de García-Baquero, 1930 y Lamo Peris, 1931.

Cuadro 1
TRABAJOS DE FOTOGRAMETRÍA TERRESTRE REALIZADOS PARA EL LEVANTAMIENTO DEL MAPA TOPOGRÁFICO (1926-1933). SUPERFICIE RESTITUIDA EN HECTÁREAS.

Años	Pirineos (Huesca y Lérida)	Sierra de Guadarrama	Canarias	Picos de Europa (León)	Zamora y Cuenca
1926	46.000				
1927	31.300				
1928	157.300				
1929		12.400	67.000		
1930	50.000	18.000			50.000
1931	50.000			20.000	60.000
1932	65.000			30.000	
1933					65.000
Total	399.600	30.400	67.000	50.000	175.000

Fuente: Elaboración propia a partir de García-Baquero, 1930; Lamo Peris, 1931 e Instituto Geográfico y Catastral, 1934.

De las 68 hojas identificadas en las que se realizaron trabajos de fotogrametría terrestre entre 1926 y 1936, más de la mitad correspondieron a las asignadas a los oficiales de Estado Mayor. El primer trabajo fotogramétrico del Depósito de la Guerra en la Península comenzó en el verano de 1926 en la orilla izquierda del río Gállego, correspondiente a la hoja 210 del mapa topográfico. Paralelamente, los topógrafos militares realizaron levantamientos en una zona entre Ribes de Freser y Núria (Gerona) para un mapa con finalidad militar. Las fotografías del mismo fueron aprovechadas para los trabajos del mapa topográfico español (García-Baquero, 1930). En esa campaña quedaron restituidas 46.000 Ha (véase cuadro 1).

En las campañas de 1927 y 1928 los oficiales de Estado Mayor continuaron en los Pirineos. En 1927 restituyeron algo más de 30.000 Ha., en la zona sur de la Sierra Tendeñera, en los Pirineos oscenses. En 1928 el Depósito de la Guerra llegó a un acuerdo con la Confederación Hidrográfica del Ebro para realizar el levantamiento de 14 hojas del mapa topográfico. Para ello se organizaron tres comisiones —Nordeste, Aragón y Pirineos Occidentales— que extendieron las labores fotogramétricas por las cuencas de los ríos Noguera de Cardós, Noguera de Tavascan, Vallferrera y Noguera Pallaresa, el río Gállego hasta los límites de la Sierra Tendeñera y el valle de Ordesa; y por los Pirineos navarros, en los valles de Baztán, Iratí y Valcarlos. En conjunto fueron restituidas un total de 157.000 Ha.

Durante las campañas de 1929 y 1930, el Depósito de la Guerra redujo sensiblemente su actividad en relación con el mapa topográfico de España. El esfuerzo, como ya se ha apuntado, estuvo centrado en territorio marroquí. En la Península, los oficiales de Estado Mayor trabajaron en la Sierra del Guadarrama y en el archipiélago canario. En la primera zona la Comisión del Centro tenía como objeto la formación de un plano de los alrededores de Madrid a escala 1:20.000, con una altimetría muy detallada, para lo cual los trabajos se restituían a escala 1:10.000, con curvas equidistantes 5 metros (Lamo Peris, 1931). Estos trabajos se extendieron por una superficie de 30.000 Ha. En 1929 se iniciaron los trabajos del mapa topográfico en las Canarias. En aquel archipiélago los oficiales del Depósito de la Guerra realizaron tareas de fotogrametría terrestre en buena parte de la isla de Lanzarote e islas septentrionales, con una superficie restituida de 67.000 Ha.

También en el Instituto Geográfico empezaba a hacerse evidente que una única brigada fotogramétrica era insuficiente. A partir de 1925 el Instituto Geográfico aumentaba el presupuesto destinado al Mapa de España, concediendo destacada importancia a las labores topográficas, de grabado y edición. El servicio fotogramétrico del Instituto fue reforzado en 1928 con la incorporación de los ingenieros geógrafos José Soriano Viguera, José Valentí y Luis Rodríguez Valderrama, que pasaron a trabajar bajo la dirección de José María Torroja y Miret, constituyendo dos brigadas distintas (Martínez Cajén, 1929, 7). Como Jefe del Servicio fue nombrado el ingeniero geógrafo Paulino Martínez Cajén, y la dotación del mismo fue ampliada, tras las reiteradas quejas de José María Torroja, con la adquisición de un estereoplanógrafo Bauersfeld-Zeiss, útil para levantamientos de fotogrametría terrestre y aérea (Sastre, 1995, 45).

Hasta el año 1933 estas brigadas realizaron levantamientos en los Pirineos Centrales (ver figura 3), en las estribaciones del Sistema Ibérico (provincias de Cuenca, Guadalajara



FIGURA 3. Fotograma panorámico del macizo de Beret y lago de Airoto (Lérida) obtenido por el ingeniero geógrafo José Soriano Viguera en la campaña de 1928 en el Pirineo Central. En SORIANO, (1929: 152-153). Biblioteca de Catalunya (Barcelona).

y Teruel), en los Picos de Europa (provincias de Oviedo, León, Palencia), y en montañas de Orense y Zamora. A partir de 1934 y hasta 1936 los trabajos de fotogrametría terrestre se extendieron por una amplia zona del Sistema Ibérico correspondiente a las provincias de Cuenca, Guadalajara y Teruel (Naval, 1956), concretamente en la Serranía de Cuenca, los Montes Universales, la Sierra de Bascuñana y la de Majadas, por la Cordillera Cantábrica (provincias de León, Santander y Palencia), los Pirineos navarros y oscenses por la Sierra de Arrigorrieta, el valle de Ansó y Hecho (ver cuadro 2).

Un informe del Instituto Geográfico del año 1934 calculaba una superficie restituida entre 1931 y 1933 de 280.000 Ha. A partir de 1934 las operaciones continuaron en las áreas de montaña de las provincias de Huesca y Lérida, en las provincias de Zamora, León y Cuenca. Aunque no podamos señalar cifras de rendimiento, a partir del año 1934 se produjo una desaceleración en el ritmo de los trabajos de fotogrametría terrestre. Por entonces el Instituto Geográfico había iniciado los primeros ensayos de fotogrametría aérea. Los primeros trabajos con esta técnica se realizaron en el año 1931, consistiendo en vuelos fotogramétricos destinados básicamente al catastro. Durante la Primera Guerra Mundial se había ensayado con éxito esta nueva técnica, y fue implantándose progresivamente durante el período de entreguerras. Así, en 1920 el US Coast and Geodetic Survey aplicó esta nueva técnica para cartografiar el delta del Mississippi (Hodgkiss, 1981, 55). Por su parte, el Instituto Geográfico Militar italiano empezó a utilizarla en 1929 de forma experimental, decidiendo en 1935 utilizarla de forma exclusiva para el levantamiento del Mapa Topográfico de Italia a escala 1:25.000 (Lodovisi y Torresani, 1996, 227-233). Sin embargo, su uso no se generalizó entre los principales organismos cartográficos occidentales hasta después de la Segunda Guerra Mundial.

El esfuerzo de las tareas fotogramétricas del Instituto Geográfico español se centró, en esta etapa, en las labores de restitución, con el fin de adelantar el proceso de edición del mapa topográfico. Las cifras de hojas publicadas en esos años así parecen indicarlo. De hecho los medios del Servicio de Fotogrametría se reforzaron en función de las aplicaciones catastrales derivadas de la fotogrametría aérea. En 1934 el Instituto Geográfico constaba ya de dos secciones fotogramétricas distintas: una terrestre para el levantamiento del mapa, y otra aérea para el mapa topográfico y el catastro (Urteaga y Nadal, 2001). Con la adopción de estas innovaciones y las mejoras técnicas en los procesos de reproducción cartográfica parecía próxima la fecha de culminación de un proyecto que había arrancado a mediados del siglo XIX. Sin embargo, la Guerra Civil y los problemas materiales y geopolíticos de la posguerra desbarataron esos planes optimistas.

En el curso de la Guerra Civil tanto las fuerzas republicanas como el ejército franquista realizaron un denodado esfuerzo de producción cartográfica (cfr. Nadal, Urteaga y Muro, 2001). Sin embargo, la fotogrametría terrestre tuvo escasas aplicaciones. Los aparatos restituidores del Instituto Geográfico fueron celosamente protegidos para evitar su destrucción. Concluida la contienda pudo localizarse el estereoplanógrafo Bauersfeld-Zeiss protegido por una carcasa de hormigón y listo para su uso. El ejército franquista, por su parte, organizó dos brigadas de fotogrametristas en octubre de 1937, al mando del ingeniero geógrafo Enrique Meseguer Marín. Aunque la contribución de estos equipos fue modesta, pues carecían de equipos de campo y de aparatos restituidores, obtuvieron vistas panorámicas, y realizaron observaciones y cálculos de operaciones de triangulación en la zona en que se esperaba romper el frente de Castellón (Nadal, Urteaga y Muro, 2001).

Las brigadas de fotogrametristas retomaron en 1939 los levantamientos que se habían iniciado antes de la Guerra Civil en la Cordillera Cantábrica y en los Pirineos. El cuadro 2 señala el número de hojas y las zonas en que tuvieron lugar las tareas fotogramétricas terrestres entre

1939 y 1958. Tras la Guerra Civil, la conclusión del Mapa Topográfico Nacional pasó a ser una de las prioridades de la cartografía oficial. A fin de agilizar los trabajos, el Consejo Superior Geográfico ordenó en 1941 la colaboración del Instituto Geográfico Nacional, del Servicio Geográfico del Ejército y del Servicio Cartográfico del Ejército del Aire. Para el levantamiento de las hojas pendientes se preveía emplear simultáneamente la topografía ordinaria, la fotogrametría terrestre y la fotogrametría aérea. Sin embargo, la aportación del servicio cartográfico del Ejército del Aire, que debía aportar los pares estereoscópicos, fue menor y más tardía de lo esperado. Debido, entre otras razones, a la falta de carburante, los primeros fotogramas no fueron entregados hasta la campaña de 1945 y 1946 (Consejo Superior Geográfico, 1947). En la práctica, la conclusión del levantamiento descansó, sobre todo, en la topografía ordinaria y en la fotogrametría terrestre. En las décadas de 1940 y 1950 el Instituto Geográfico Nacional disponía de cuatro brigadas de fotogrametría terrestre, y tan sólo dos brigadas de fotogrametría aérea (Naval, 1956 y Sastre, 1995). Las difíciles circunstancias de la posguerra española explican que se mantuviese una técnica que a mediados del siglo XX resultaba manifiestamente obsoleta para levantamientos topográficos de gran extensión. Cabe destacar en los años cuarenta, la participación en trabajos fotogramétricos del ingeniero geógrafo José Cubillo y Fluiters, traductor de varios manuales de fotogrametría.

En la zona pirenaica trabajaron en el área fronteriza hispano-francesa y en los límites provinciales de Navarra y Guipúzcoa, el valle del Baztán y los montes de Bidasoa. Los topógrafos volvieron a esta misma zona en 1942, levantando áreas correspondientes a las sierras de Urbasa y Elguea, entre las provincias de Álava y Guipúzcoa. Paralelamente, entre 1940 y 1941, se realizaron trabajos en la frontera portuguesa, en las montañas de Orense y en la comarca del Bierzo.

En los Picos de Europa el levantamiento fotogramétrico tuvo como escenario los límites de Asturias y Santander. Continuaron estas operaciones en 1942 por los Montes de León y los límites de Asturias y León. En las campañas de 1940 y 1941 se efectuaron levantamientos en las Sierras de Gata, de Santaolalla y Malvana, entre Salamanca y Cáceres, y en tres hojas correspondientes a la provincia de Orense, en las Sierras de Queixa, Moura y Laboreiro.

Cuadro 2
ZONAS GEOGRÁFICAS Y NÚMERO DE HOJAS DEL MAPA TOPOGRÁFICO NACIONAL ESCALA 1:50.000 EN LAS QUE SE REALIZARON TRABAJOS FOTOGAMÉTRICOS TERRESTRES, 1934-1958.

Zonas de levantamiento	1939-1942	1943-1948	1949-1958	TOTALES
Cordillera Cantábrica	8		2	10
Sistema Central		7	4	11
Pirineos	8			8
Cordilleras Béticas		7		7
Galicia y Bierzo	3	2		5
Frontera portuguesa	5			5
Cordillera Ibérica		2	1	3
Sierra Morena			2	2

Fuente: Elaboración propia a partir de Consejo Superior Geográfico, 1951; Naval, 1956 y Sastre, 1995.

A partir del año 1943 los fotogrametristas restituyeron zonas específicas de las hojas del mapa correspondientes al Sistema Central, labor que retomaron a principio de los años cincuenta. En concreto, extendieron sus tareas por la Peña de Francia, la Sierra de Tamames, de la Alberca y la comarca de las Batuecas, en la provincia de Salamanca, hasta encontrar las estribaciones de la Sierra de Gredos, en los límites de la provincia de Ávila. A partir de la década de 1940 se iniciaron los levantamientos en siete hojas correspondientes a las cordilleras Béticas, dos en el Sistema Ibérico y dos más en Sierra Morena (Consejo Superior Geográfico, 1948). Posteriormente se realizaron trabajos fotogramétricos terrestres en el Alto Maestrazgo y en el valle del Jiloca.

A partir del año 1950 hubo una reducción notable de las tareas de campo por parte de las brigadas terrestres. Una gran parte de la actividad fotogramétrica se concentró en los trabajos de gabinete y en el dibujo de las minutas (Consejo Superior Geográfico, 1951). En 1950, después de los trabajos en la Cordillera Cantábrica y en las tierras del Bierzo, las brigadas se desplazaron a Despeñaperros, en Sierra Morena, entre las provincias de Jaén y Ciudad Real. Finalmente, en el año 1958 se trabajó en la hoja número 538, última en la que se utilizaron métodos fotogramétricos terrestres, correspondiente a las estribaciones de La Alcarria, Sierras de Albarracín y de Tragacete, en las provincias de Guadalajara y Cuenca (Sastre, 1995).

Conclusiones

La fotogrametría terrestre ofreció una vía para la modernización de los levantamientos topográficos, particularmente en relieves abruptos. El conocimiento de la innovación fue temprano en España. Los cartógrafos españoles siguieron con atención los desarrollos iniciales de la técnica fotogramétrica desde la sexta década del siglo XIX, y de nuevo estuvieron al tanto de las decisivas novedades de la fotogrametría estereoscópica en los pasos iniciales del siglo XX.

Sin embargo, la adopción de la fotogrametría para levantamientos topográficos de gran extensión fue tardía y limitada. La difusión de la fotogrametría terrestre en España ilustra un problema característico en los procesos de adopción de innovaciones. La incorporación de nuevas técnicas no es únicamente el resultado de la selección de una técnica óptima, sino un proceso históricamente contingente en el que suele pesar la dependencia de la trayectoria. Los responsables del Instituto Geográfico debieron tomar decisiones sobre la base de una limitada comprensión de los méritos de las diferentes técnicas topográficas. Los ensayos realizados en 1902 no mostraron resultados concluyentes. Los nuevos ensayos realizados por José María Torroja en 1913 parecían ofrecer resultados más definitivos. Sin embargo, la opción por la fotogrametría iba a verse afectada por decisiones tomadas muchos años atrás, cuando tal técnica no existía. En concreto, la práctica de realizar el levantamiento municipio por municipio, y la necesidad de recurrir a la topografía clásica para la obtención de los planos de población, la determinación de los perímetros municipales y las masas de cultivo, lastraban notablemente la eficacia de la nueva técnica fotogramétrica. A efectos prácticos pudo resultar más racional mantener los procedimientos de topografía ordinaria, reservando la nueva técnica para funciones auxiliares. El modelo de levantamiento, elegido a mediados del siglo XIX, acabó por condicionar las posibilidades de recepción de las innovaciones topográficas del siglo XX.

En un proceso tan largo como la formación del mapa de España, los accidentes históricos acabaron también jugando su papel. La Guerra Civil de 1936-1939 truncó un nuevo pro-

ceso de sustitución, el de la fotogrametría terrestre por la fotogrametría aérea, iniciado en 1931 y que seguramente hubiera podido haberse concluido en la década siguiente. El mantenimiento de la fotogrametría terrestre en la década de 1950 era ya un puro anacronismo, como lo demuestra el hecho de que el Army Map Service de los Estados Unidos dispusiera de un vuelo fotográfico completo de la Península desde 1946. Sin embargo, la inercia de las viejas técnicas también es explicable. En la penuria de la posguerra española resultaba difícil optar exclusivamente por las claras ventajas de la fotogrametría aérea. Pudo resultar racional tratar de amortizar los recursos disponibles y el personal especializado en la fotogrametría terrestre. En definitiva, en una perfecta ilustración del principio según el cual 'cualquier cosa sirve, mientras funcione', en el levantamiento del Mapa de España convivieron durante casi treinta años la topografía clásica, la fotogrametría terrestre, y la fotogrametría aérea. Uno de los efectos más positivos de la fotogrametría terrestre fue la apreciable mejora de la representación altimétrica del Mapa Topográfico Nacional, que en las hojas levantadas por topografía clásica presentaba lógicas deficiencias.

Agradecimientos

Este trabajo se ha realizado en el marco del proyecto de investigación PB96-0226, financiado por la Dirección General de Enseñanza Superior.

Bibliografía

- BLACHUT, T. (1989): «Los primeros días de la fotogrametría (hasta la invención del aeroplano)», en T. Blauchut y R. Burkhardt: *Desarrollo histórico de los equipos y métodos fotogramétricos*, México, Instituto Panamericano de Geografía e Historia, 1989, pp. 15-64.
- CABEZÓN ARRIBAS, W. y GUIMARE CALVO, J. (1972): «El Servicio Geográfico del Ejército». *Boletín de Información*, SGE, Madrid, 2º trimestre, 18, pp. 29-50.
- CASTRO BONEL, H. (1932): «Informe sobre la organización de los trabajos geográficos para obtener el mapa nacional a 1:50.000 y el catastro parcelario», por —, director del Instituto Geográfico y Catastral, Madrid, Brochure présentée par M. Cifuentes, en UNION GEOGRAPHIQUE INTERNATIONALE. *Comptes Rendus du Congrès International de Géographie*. París 1931. Tome Premier. Actes du Congrès. Travaux de la Section I, París, Librairie Armand Colin, 1932, pp. 279-281.
- CONSEJO SUPERIOR GEOGRÁFICO (1947): *Memoria General Correspondiente al año 1946*. Madrid, Talleres del Instituto Geográfico y Catastral.
- CONSEJO SUPERIOR GEOGRÁFICO (1948): *Memoria General Correspondiente al año 1947*. Madrid, Talleres del Instituto Geográfico y Catastral.
- CONSEJO SUPERIOR GEOGRÁFICO (1951): *Memoria General Correspondiente al año 1950*. Madrid, Talleres del Instituto Geográfico y Catastral.
- DOLEZAL, E. «La fotogrametría en España», por el profesor D.—, de Viena, *Anales de la Sociedad Española de Estudios Fotogramétricos*, Tomo I, 1928, nº 2, pp. 33-37.
- ELOLA Y GUTIÉRREZ, J. (1926): «Estado actual de la estereofotogrametría». *Ibérica. El progreso de las ciencias y de sus aplicaciones*. Barcelona, Año XIII, vol. XXV, pp. 93-95.
- FERNÁNDEZ GARCÍA, F. (2000): *Introducción a la fotointerpretación*. Barcelona, Ariel, 253 pp.
- FERNÁNDEZ GARCÍA, F. (1998): «Las primeras aplicaciones civiles de la fotografía aérea en España. I. El catastro y las confederaciones hidrográficas», *Eria*, 46, 1998, pp. 117-130.

- GALBIS RODRÍGUEZ, J. y BORUS, J. (1908): *Ensayo de los métodos fotogramétricos en el término municipal de Otero de Herreros (provincia de Segovia)*, por— comandante de Estado Mayor e Ingeniero Geógrafo, Madrid, Dirección General del Instituto Geográfico y Catastral.
- GARCÍA-BADELL Y ABADÍA, G. (1955): «Torroja, Ingeniero Geógrafo». *Boletín de la Real Sociedad Geográfica*, Madrid, enero-marzo, tomo XCI, núms. 1-3, pp. 9-20.
- GARCÍA-BAQUERO Y SÁENZ DE VICUÑA, M. (1930): *La fotogrametría en el Servicio Geográfico del Ejército*. Conferencia leída en el III Congreso Internacional de Historia y Geografía hispanoamericanas, por el capitán de Estado Mayor, Madrid, Talleres del Depósito Geográfico e Histórico del Ejército, 18 pp. 4 mapas.
- HEFFERMAN, M. (1996): «Geography, cartography and military intelligence: the Royal Geographical Society and the First World War», *Transactions of the Institute of British Geographers*, 21, n° 3, pp. 504-533.
- HODGKISS, A. (1981): *Understanding maps. A systematic history of their use and development*, Folkestone (Kent), Dawson, 209 pp.
- INSTITUTO GEOGRÁFICO Y CATASTRAL (1934): *Informe en Español y en Francés sobre los trabajos topográficos, foto-topográficos y cartográficos ejecutados por el Instituto Geográfico y Catastral durante los años 1931, 1932 y 1933*. Presentado al Congreso Internacional de Geografía. Varsovia, Agosto 1934, Madrid, Talleres del Instituto Geográfico y Catastral, 1934, 11 pp.+ 1 mapa.
- IRIARTE Y SHAKERY, C. y NAVARRO, L. (1899): *Topografía fotográfica; o sea aplicación de la fotografía al levantamiento de planos*, por los individuos del cuerpo de ingenieros agrónomos —, Madrid, Tipolitografía de Raoul. Péant, 1899. Texto XVI-436 pp.
- IZQUIERDO, R. J. (1914): *Fotogrametría: nuevos procedimientos de fototopografía*, explicados en la conferencia dada por— 8 de mayo 1913, Instituto de Ingenieros Civiles, Madrid, J. Layunta, 1914, 16 pp.
- LABOR (1933): «La labor del Instituto Geográfico y Estadístico». *Ibérica. El progreso de las ciencias y de sus aplicaciones*. Barcelona, año XX, vol. XXXIX, primer semestre, pp. 146-147 núm. 967 y pp. 162-163, n° 968.
- LAMO PERIS, L. (1931): «Trabajos fotogramétricos realizados por el Depósito Geográfico e Histórico del Ejército», *Anales de la Sociedad Española de Estudios Fotogramétricos*, Madrid, 11 pp.
- LODOVISI, A. y TORRESANI, S. (1996): *Storia della cartografia*, Bolonia, Patrón Editore, 404 pp.
- LÜSCHER, H. (1926): *Elementos de fotogrametría: corriente, estereoscópica y aérea*. Traducido del alemán por José María Torroja, ingeniero jefe de la Brigada Fotogramétrica del Instituto Geográfico y Catastral de España, Barcelona, Labor, 168 pp. + 82 figuras, Manuales Técnicos Labor, núm. 14.
- MAÑA HERNÁNDEZ, J. (1929): «Los nuevos procedimientos para el levantamiento del Mapa Nacional». *Ibérica. El progreso de las ciencias y de sus aplicaciones*. Barcelona, año XVI, vol. XXXI, primer semestre, pp. 331-333 núm. 779.
- MARAÑÓN, G. (1955): «La personalidad de Torroja». *Boletín de la Real Sociedad Geográfica*, enero-marzo, Madrid, tomo XCI, núms. 1-3, pp. 9-20.
- MARTÍNEZ CAJÉN, P. (1929): «La fotogrametría en el Instituto Geográfico y Catastral de España», *Anales de la Sociedad Española de Fotogrametría*, Madrid, Tomo II, pp. 5-7.
- MÁS Y ZALDÚA, A. (1902): *Foto-topografía práctica*, Barcelona, Luis Tasso, 93 pp.

- MÁS ZALDÚA, A. (1912): *Aplicaciones topográficas de la fotografía estereofotogramétrica*. Por —, teniente coronel de E.M., profesor de topografía E.S. de Guerra, Madrid, Imprenta de Antonio García Izquierdo, 1912, 110 pp.
- MÁS Y ZALDÚA, A. (1914): *La Estereofotogrametría en 1913*, por el teniente coronel de E.M., Madrid, Imp. Ministerio de Marina, 144 pp.
- MONTANER GARCÍA, M. C. (1998a): «Els inicis de la cartografia topogràfica a escala 1:50.000 a Catalunya», *Treballs de la Societat Catalana de Geografia*, Barcelona, n° 46, pp. 97-112.
- MONTANER GARCÍA, M. C. (1998b): «Mapes topogràfics per als projectes hidroelèctrics a Catalunya (1890-1936)», *Documents d'Anàlisi Geogràfica*, Barcelona, n° 32, pp. 161-174.
- MONTANER GARCÍA, M. C. (2000): *Mapes i cartògrafs a la Catalunya Contemporània (1833-1941). Els inicis i la consolidació de la cartografia topogràfica*, Barcelona, Rafael Dalmau/Institut Cartogràfic de Catalunya, 237 pp.
- NADAL, F., URTEAGA, L. y MURO, J. I. (2000): «El Mapa topogràfic del Protectorado español de Marruecos en su contexto político e institucional», *Documents d'Anàlisi Geogràfica*, Barcelona, n° 36, pp. 15-46.
- NADAL, F., URTEAGA, L. y MURO, J. I. (2001): «Los mapas empleados en la Guerra Civil española (I): Cartografía Republicana», *Estudios Geográficos*, Madrid (en publicación).
- NADAL, F., URTEAGA, L. y MURO, J. I. (2001): «Los mapas empleados en la Guerra Civil española (II): Cartografía del Cuartel General del Generalísimo», *Estudios Geográficos*, Madrid (en publicación).
- NAVAL GALINDO, E. (1956): «Informe de los trabajos fotogramétricos que presenta el Instituto Geográfico y Catastral para enviar a la Sociedad Internacional de Fotogrametría». *Boletín de la Real Sociedad Geográfica*, Madrid, enero-diciembre, Tomo XCII, pp. 247-256.
- NÚÑEZ DE LAS CUEVAS, R. (1982): «Cartografía española en el siglo XIX». En *Curso de conferencias sobre historia de la cartografía española*, Madrid, Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, pp. 75-111.
- NÚÑEZ DE LAS CUEVAS, R. (1991): «Historia de la cartografía española». En INSTITUT CARTOGRÀFIC DE CATALUNYA. *La cartografia de la Península Ibèrica i la seva extensió al continent americà*, Barcelona, Institut Cartogràfic de Catalunya, pp. 155-223.
- OLLIVIER, F. (1929): *La topographie sans topographes. Traité de photogrammétrie* par —, chef de Bataillon du Génie. Ingenieur Diplômé de l'École Supérieure d'Optique, preface de M. Maurice d'Ocagne, membre de l'Institut. París, Editions de la Revue d'Optique Théorique et Instrumentale, XVIII + 301 pp.
- OREL, E. R. (1912): «Über die Anwendung des Stereoautographischen Verfahrens für Mappierungszwecke», Leiter der photogrammetrischen Abteilung des Militärgeographischen Institutes, *Mitteilungen des k.v.k. Militärgeographischen Institutes*, XXXI, Band, Viena, 14 pp.
- SANDOVAL RAMÓN, L. (1985): «Breve historia de la fotogrametría». *Boletín de Información*. Servicio Geográfico del Ejército, Madrid, 60, 1-2 trim., pp. 55-69.
- SASTRE DOMINGO, J. (1995): «Documentos de fotogrametría terrestre en el IGN (español). Pasado, presente y futuro», *Topografía y Cartografía*, Madrid, vol. XII, n° 66, pp. 40-49.

- SORIANO VIGUERA, J. (1929): «La fotogrametría en el Pirineo Central. Campaña de 1928», *Ibérica. El progreso de las ciencias y de sus aplicaciones*. Barcelona, año XVI, vol. XXXI, primer semestre, pp. 152-159 núm. 768.
- SORIANO VIGUERA, J. (1931): «La moderna fotogrametría automática. El aerocartógrafo, autógrafo y estereoplanógrafo». *Ibérica. El progreso de las ciencias y de sus aplicaciones*. Barcelona, año XVIII, vol. XXXV, primer semestre., pp. 216-224 núm. 872; pp. 264-269 núm. 875.
- TERRERO Y DÍAZ HERRERO, A. (1862): «Aplicaciones de la fotografía al levantamiento de planos topográficos». *La Asamblea del Ejército y de la Armada*, Madrid, año V, 2ª época, Tomo 3º, pp. 31-46.
- TORROJA Y MIRET, A. (1915): «El Estereógrafo», por — ingeniero de minas y geógrafo (sesión del 21 de octubre 1915). *Asociación Española para el Progreso de las Ciencias. Congreso de Valladolid*, Madrid, Imp. Eduardo Arias.
- TORROJA Y MIRET, J. M. (1909): «Aplicaciones métricas de la Estereoscopia», *Revista de Obras Públicas*, Madrid, Estable. Tip. J.A. García, 104 pp.
- TORROJA Y MIRET, J. M. (1910): «El problema de la orientación de las vistas en fototopografía», por —. Doctor en ciencias, sesión del 25 de octubre de 1908, en *ASOCIACIÓN ESPAÑOLA PARA EL PROGRESO DE LAS CIENCIAS, Congreso de Zaragoza*, Tomo VIII, Sección 7ª Ciencias de Aplicación, Madrid, Imp. Eduardo Arias, pp. 183-193.
- TORROJA Y MIRET, J. M. (1911): *Foto-topografía. Teoría y práctica: memoria doctoral*, Zaragoza, Tip. de Emilio Casañal, 115 pp.
- TORROJA Y MIRET, J. M. (1913a): «Levantamiento de planos por medio de la fotografía estereoscópica», por — doctor en ciencias, ingeniero de caminos e ingeniero geógrafo. *Anales de la Junta para Ampliación de Estudios e Investigaciones Científicas*, Tomo XI, memoria 4ª, Madrid, Imp. de Fortanet, 102 pp.
- TORROJA Y MIRET, J. M. (1913b): Notes historiques sur la Photogrammétrie en Espagne avec un résumé de la memoire presentée par le colonel A. Laussedat à l'Academie Royale des Sciences de Madrid l'an 1863', *Internationales Archiv für Photogrammetrie*, Viena, pp. 249-276.
- TORROJA Y MIRET, J. M. (1913c): «El estereoautógrafo de E. Von Ore!», *Arxiu de l'Institut de Ciències*, Barcelona, vol. III, pp. 54-102.
- TORROJA Y MIRET, J. M. (1915): «Sobre los progresos de la fotogrametría en España», por —. Ingeniero de caminos y geógrafo. Sesión 21 de octubre de 1915. En *ASOCIACIÓN ESPAÑOLA PARA EL PROGRESO DE LAS CIENCIAS. Congreso de Valladolid*, Tomo X, Sección 8ª. Ciencias de Aplicación, Madrid, Eduardo Arias, pp. 151-159.
- TORROJA MIRET, J. M. (1916): *Topografía moderna. La estereofotogrametría en 1915*, conferencia dada en el instituto de ingenieros civiles el 21 de mayo de 1915, Madrid, Ramona Velasco, Viuda de Prudencio Pérez, 37 p. 8 planos.
- TORROJA Y MIRET, J. M. (1920a): *Fotogrametría terrestre y aérea*, discurso leído en el acto de su recepción por el sr. — en la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales de Madrid, el día 16 de mayo de 1920 y contestación del Sr. Amós Salvador. Madrid, Est. Tip. de Fortanet, 87 pp.
- TORROJA Y MIRET, J. M. (1920b): *Fotogrametría terrestre y aérea*, Madrid, Tip. Fortanet, 23 pp. Trabajo publicado en la revista *Matemática Hispano-Americana*.
- TORROJA Y MIRET, J. M. (1923): *La Estereoscopia de los objetos en movimiento y sus aplicaciones*, conferencia pronunciada en el paraninfo de la Universidad de Salamanca

- el día 26 de junio de 1923 con motivo del Congreso de la Asociación Española para el Progreso de las Ciencias, Madrid, 31 pp.
- TORROJA MIRET, J. M. (1925): *La estereofotogrametría en 1924*, conferencias pronunciadas los días 3, 5 y 10 de abril de 1924, en la Real Sociedad Geográfica, Madrid, Talleres Voluntad, 83 págs. + 55 h. de láms.
- TORROJA Y MIRET, J. M. (1926): «Nota sobre la triangulación geodésica de primer orden en las Islas Canarias», *Revista de la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales de Madrid*, XXIII, pp. 321-322.
- TORROJA Y MIRET, J. M. (1927): *Dos congresos científicos celebrados en Berlín: I de exploración ártica y II Internacional de Fotogrametría*, conferencia pronunciada el día 29 de marzo de 1927, Madrid, 30 pp.
- TORROJA Y MIRET, J. M. (1928a): «Enlace geodésico de las Islas Canarias con el continente africano por Cabo Jubu», *Revista de la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales de Madrid*, XXIV, pp. 446-447.
- TORROJA Y MIRET, J. M. (1928b): «El Doctor Carlos Pulfrich. Creador de la Estereoscopia métrica», *Anales de la Sociedad Española de Estudios Fotogramétricos*. Madrid, Tomo I, n° 3. pp. 65-70.
- TRABAJOS (1934): «Trabajos geodésicos realizados por el Instituto Geográfico español y presentados a la Asamblea celebrada en Lisboa por la Unión geodésica y geofísica internacional». *Ibérica. El progreso de las ciencias y de sus aplicaciones*, Barcelona, Año XXI, vol. XLI, primer semestre, pp. 292-294 núm. 1024.
- URIOL DUTIES, F. (1930): *État actuel de la Carte Nationale*, Madrid, Ateliers de l'Institut Géographique et Cadastral, 5 pp.+2 mapas.
- URTEAGA, L. y NADAL, F. (2001): *Las series del Mapa Topográfico de España a escala 1:50.000*. Madrid, Instituto Geográfico Nacional, 397 pp.
- YSASI-YSASMENDI Y ARÓSTEGUI, J. (1927): «La fotogrametría terrestre militar en España», por —. Comandante de estado mayor. Sesión del 6 de mayo de 1927. En *ASOCIACIÓN ESPAÑOLA PARA EL PROGRESO DE LAS CIENCIAS. Undécimo congreso celebrado en la ciudad de Cádiz del 1 a 7 de mayo de 1927. Cuarto Congreso de la Associação Portuguesa Para o Progresso das Sciencias. Tomo II, Conferencias*. Madrid, Est. Tip. Huelves y Cia, pp. 67-82.
- YSASI-YSASMENDI Y ARÓSTEGUI, J. (1928): *Fotogrametría terrestre: nociones y normas para su aplicación al levantamiento de planos*, Madrid, Talleres del Depósito de la Guerra, 232 pp.