

La geodesia y la investigación científica en la Francia del Siglo XIX la medición del arco de meridiano franco-argelino (1870-1895)

Martina Schiavon

Introducción

Hasta la Primera Guerra Mundial, la geodesia era una etapa central en el trabajo de los observatorios europeos. Sin embargo, los historiadores raramente han estudiado esta materia como una actividad del observatorio astronómico, tal vez porque la geodesia era sobre todo una ciencia de terreno, lo que parece muy lejos de los problemas de la astronomía. Además, desde la mitad del siglo XIX, los practicantes de la geodesia eran oficiales militares, quienes han sido considerados por los historiadores como simples “ejecutores materiales” de una tarea práctica asignada por los científicos, en lugar de colaboradores de estos.

Con este artículo me propongo estudiar la geodesia en el siglo XIX: esta ciencia se hacía principalmente en el terreno, lo que constituye un espacio de investigación científica y sociológica poco conocido en historia de las ciencias. Tomando como ejemplo los trabajos realizados para medir un arco de meridiano en Francia y Argelia entre 1870 y 1895, mi propósito es mostrar que este trabajo de medida científica moviliza unos dominios de actividad muchos más grandes, complejos y difíciles de administrar y controlar, que el laboratorio científico. La medición de precisión que este artículo pone en luz, constituye así una esfera sociológica y material, además que cognitiva, por excelencia.

Mi ambición es también poner en juicio lo que significa “hacer ciencia” en la segunda mitad del siglo XIX e investigar unos actores que no son exclusivamente los científicos, sino también los oficiales militares. El general François Perrier y sus alumnos Léon Bassot, Robert Emile Bourgeois y Georges Perrier son casi totalmente desconocidos en historia de las ciencias y de las técnicas aunque se

formaron en la misma *Ecole Polytechnique* de donde salieron, por ejemplo, Henri Poincaré, François Arago, Urbain Le Verrier, Jean-Baptiste Biot y Henri Becquerel (sobre la Escuela politécnica ver: Shinn, 1980; Belhoste et al., 1994 y 1995; Belhoste, 2003). Sin embargo, Perrier y sus alumnos fueron prestigiosos miembros de la primera división de ciencias matemáticas de la *Académie des sciences* (sección de geografía y navegación) y de otras sociedades sabias como el *Bureau des longitudes* del observatorio de París. Así, me propongo mostrar la existencia de relaciones profundas entre ciencia y armada aún antes de la Primera Guerra mundial, momento en el cual los historiadores afirman empezar una colaboración más estructurada entre científicos y militares.

La geodesia en el siglo XIX

La geodesia es la ciencia que estudia la determinación de la figura y de las dimensiones de la tierra (y de las propiedades de su campo de gravedad) en relación con la posición de las estrellas; en un enfoque exclusivamente científico, la geodesia proporciona a la astronomía una unidad de longitud, el eje medio de la tierra, lo cual sirve para medir la distancia de los cuerpos celestes. Sin embargo, en el siglo XIX y hasta principios del XX, la geodesia era también fundamental para otras disciplinas, en particular para aquellas que hoy llamamos ciencias de la tierra (cartografía, geología, geofísica) y también para las disciplinas militares. Medir un arco de meridiano, un arco de paralelo o medir la posición astronómica de una estación geodésica, son todas estas unas operaciones en las cuales los oficiales utilizan en el terreno las “técnicas” materiales y conceptuales que fueron creadas para observar las estrellas. Los militares han, en consecuencia adaptado y modificado los conocimientos característicos del observatorio para medir los objetos terrestres.

Antes del siglo XIX, la Academia de las ciencias de París había siempre apoyado las operaciones de medida de un arco de meridiano, es decir un segmento del círculo imaginario que intercepta los polos terrestres (sobre las conexiones metro y arco de meridiano ver: Alder, 1995; sobre la medida del arco de meridiano en Perú ver: Lafuente y Peset, 1984: 235-254). Sin embargo, al inicio del siglo XIX, la estabilización o la creación de los Estados europeos contribuyó a reforzar las conexiones de la geodesia con la cartografía, confiriendo a las operaciones geodésicas una importancia geopolítica. Esto significa que la medida de un arco de meridiano no servía para el diseño de un mapa local, sino para ajustar las hojas de mapas producidas por diferentes países, es decir para hacer un mapa global, político o militar de un país, de la Europa y de sus colonias.

El primer mapa construido a partir de un arco de meridiano es la *Carte d'État-major* o Mapa del Estado Mayor, hecho en la escala 1/80.000 a partir de 1817. Este trabajo fue dirigido por una comisión científica presidida por el astrónomo, matemático y físico Pierre-Simon Laplace. El mapa se apoya sobre un arco de

meridiano medido, entre 1792 y 1798, por los académicos Jean-Baptiste Delambre y Pierre Méchain el cual sirvió como fundamento teórico de la unidad de medida francesa, el metro. Las operaciones de terreno del mapa del Estado Mayor fueron dirigidas en el terreno por el coronel Louis Puissant, quien era miembro de la Academia de Ciencias y pertenecía al cuerpo de ingenieros geógrafos (sobre los ingenieros geógrafos ver en particular: Bret, 1991). Creado por Napoleón Bonaparte en 1808, estos ingenieros tenían también tareas civiles. Ex-alumnos de la Escuela Politécnica, los ingenieros geógrafos trabajaban en el *Dépôt général de la Guerre*, que llamaré Depósito de la Guerra, una institución que tenía a cargo el diseño y la conservación de los mapas militares. El hecho de que el mapa estuviera fabricado a partir de un arco de meridiano medido por los académicos que servía además como fundamento del metro le otorgaba un gran valor.

Es necesario tomar en cuenta que hacer un mapa basado sobre un arco de meridiano involucra diferentes etapas. En primer lugar, los ingenieros geógrafos tuvieron que reconstituir los triángulos (de un lado de hasta 30 Km.) utilizados para recubrir el meridiano de Delambre y Méchain (Rondeau Jozeau, 1997). La longitud del arco es medida entonces indirectamente en el terreno, utilizando el método de la triangulación: entre las dos extremidades del arco, en las cuales se miden las latitudes geográficas, se construye una cadena de triángulos que es orientada por observación astronómica. Los métodos de la trigonometría permiten entonces calcular la longitud del arco a través de las proyecciones de los lados de cada triángulo en el meridiano, la suma de estas proyecciones daría la longitud del arco. Esta triangulación que sirve para la medida del arco se llama “primera triangulación”, en razón de su función primaria en el diseño cartográfico, pero también porque sus puntos son determinados en el campo utilizando unos instrumentos astronómico de gran precisión. La cadena de primer orden es en seguida completada con una de segundo (lados de los triángulos más pequeños, de 20 Km.), que cubre todo el territorio que tiene que ser cartografiado. Esta segunda triangulación no necesita de medidas astronómicas, puede hacerse por un personal topógrafo menos especializado y quien utiliza unos instrumentos menos precisos, como el teodolito.

La operación más difícil es entonces la de primer orden, que va a definir el esqueleto del mapa. Esta operación toma años y comprende diferentes medidas de precisión: la de longitud de la base de primer orden con la unidad de longitud, el metro, la medida de los ángulos de los triángulos, las observaciones astronómicas –latitud, diferencia de longitud y azimut.

De la triangulación de primer orden, he estudiado las medidas de ángulos: la observación de un ángulo en el terreno es en realidad la más problemática: un pequeño error en el posicionamiento del instrumento de medida –lo que determina el centro del ángulo o la posición de sus dos lados– aunque resulte insignificante por un solo ángulo es considerable en una triangulación que comporta cien o más

triángulos. Ahora, la precisión de la medida angular depende en gran parte del instrumento utilizado. Para el mapa del estado mayor, los ingenieros geógrafos utilizaban un instrumento fabricado por Henri Prudence Gambey quien trabajó bajo instrucción del matemático y marino Charles de Borda. Este instrumento se compone de un círculo llamado de repetición. Con este único instrumento los ingenieros geógrafos podían medir ángulos horizontales y también verticales: en efecto, el círculo puede rodar en torno de un eje, lo que permite hacer observaciones astronómicas y terrestres. Sin embargo, desde un punto de vista práctico, esta misma propiedad complica la eliminación del error que se refiere al posicionamiento incorrecto del centro del instrumento y que coincide con el centro del ángulo (“excentricidad”), pues el centro común se deteriora fácilmente debido a la fricción (para una descripción más técnica de este método ver: Schiavon, 2002). Los ingenieros trataban entonces de verificar los ángulos medidos eligiendo estaciones en el terreno que formaban triángulos equiláteros. Pero no es siempre tan fácil ubicar estaciones en el terreno que obedezcan a una regla geométrica; además, si la superficie a cartografiar es suficientemente grande (lado mayor de 100 km.), la cartografía debe tener en cuenta la curvatura de la tierra, del problema de diseñar una superficie curva bajo un plano: de allí, el interés de la geodesia por la cartografía.

En el siglo XIX los astrónomos sabían que la mejor aproximación de la figura de la tierra es un elipsoide de rotación, con rayo medio de 6366 Km., con el lado polar más pequeño del ecuatorial de 21 Km. Sin embargo, cada Estado europeo había calculado sus propios valores por la figura teórica de la tierra y cada cual había elegido una estación astronómica primaria para reportar todas sus observaciones astronómicas (recuerdo que, geométricamente, no existe una proyección única del elipsoide sobre un plano. El sistema de proyección elegido depende entonces del uso que se hará del mapa: así, cada método de proyección puede atenuar un cierto tipo de error pero no se puede eliminar todos los errores. Por ejemplo, un mapa para la marina tiene que permitir el cálculo del movimiento del barco, lo que se describe con líneas y puntos, pero un mapa de artillería necesita representar el territorio en su extensión, combinando puntos y superficies).

Trabajando en el diseño del mapa del estado mayor, los ingenieros geógrafos habían encontrado muchos errores en las triangulaciones de primer orden hechas por los académicos *Delambre* y *Méchain*, especialmente en la medida de los ángulos. Sin embargo, algunos académicos trataron de disimular estos errores que hubieran podido involucrar los recursos del gobierno para terminar la publicación del mapa del estado mayor —los últimos folletos de este mapa fueron publicados en 1880— y también la definición teórica del metro francés. El astrónomo Arago, por ejemplo, quien había extendido, junto con Biot, el arco de meridiano hasta la isla de Formentera (España), se oponía a la corrección del arco de meridiano francés y a la introducción de nuevos instrumentos en la práctica geodésica.

En esta misma época, las otras naciones europeas estaban apoyando nuevas operaciones de medida de grandes arcos de meridiano y de paralelo, lo que se traducía en el desarrollo de nuevas técnicas de geodesia. Las innovaciones mayores al principio del siglo XIX fueron las de los astrónomos y matemáticos alemanes Carl Friedrich Gauss, Friedrich Wilhelm Bessel y Wilhelm Struve (Schiavon, 2004). Por ejemplo, Bessel introdujo en la práctica geodésica un nuevo método de análisis de los errores, llamado método de los mínimos cuadrados, fundado sobre estudios de probabilidad. En 1831, junto con el mayor Johann Jakob Baeyer, oficial del Estado mayor prusiano, Bessel estudió los errores de los instrumentos de medida angular, de división del círculo de lectura y de colimación del ocular. El astrónomo alemán pensaba que los instrumentos eran siempre imperfectos, pero que esta imperfección podría apreciarse con un estudio profundo de todas sus partes técnicas y con la aplicación del análisis de los errores. Desarrollando los estudios de geodesia, Bessel hubiera querido unir todas las redes de geodesia particulares de cada país y diseñar un mapa de Europa. Pero tuvo que rendirse frente a la heterogeneidad y complejidad de las medidas particulares realizadas en cada país. Sin embargo, pensó realizar —con instrumentos y métodos exclusivamente alemanes— la medida de un arco de paralelo o de meridiano. En efecto, la medida de un arco tiene que cubrir una gran extensión de territorio, es decir algunos países europeos: esta medida sería entonces el referente común para reportar todas las medidas particulares de cada nación. En este sentido tiene que entenderse la creación de la *Mittel-Europäische Gradmessung*, o Confederación de los Estados de la Europa media, inaugurada por Baeyer en 1864 en Berlín. La creación de esta Confederación demuestra igualmente la importancia de la geodesia en esta época (recuerdo que, en 1886, esta Confederación se transformaba en la *International Erdmessung*, o Asociación internacional de geodesia. Ver: Schiavon, 2003).

Inicialmente, Francia no quiso unirse a la confederación geodésica: Baeyer proponía adoptar métodos e instrumentos geodésicos exclusivamente alemanes. Es interesante constatar que la entrada oficial de Francia se hizo después que François Perrier empezó su medida de arco en 1870, lo que puso en la escena internacional los métodos y los instrumentos geodésicos franceses.

François Perrier y la unión de los mapas de Francia y Gran Bretaña

En 1854 el gobierno francés asignó nuevas atribuciones a la Oficina de longitudes (*Bureau des longitudes*) del Observatorio de París: la oficina tenía que promover el desarrollo en los vastos campos de las aplicaciones astronómicas a la navegación, a la geodesia, a la geografía y a la geofísica. La Oficina abrió entonces sus puertas a los oficiales y ministros de Marina y de Guerra. Apropiándose de unos servicios vitales para el Estado, los científicos de la Oficina, quienes eran todos miembros de la

Academia de Ciencias (lo que no es una casualidad), tenían que probar su utilidad o su independencia. No es trivial observar que, para los científicos de la Oficina, los oficiales eran mucho más que unos simples técnicos: eran preciosos colaboradores con los cuales los científicos y muchos fabricantes de instrumentos de precisión compartían, en esta época, la misma educación en la escuela politécnica. Los oficiales participaban entonces a pleno título en el estudio y en el desarrollo de la instrumentación y de los métodos científicos, como lo muestra el ejemplo de François Perrier.

Segundo hijo de un panadero de Vallerague (Sur de Francia), Perrier fue admitido por concurso en la Escuela politécnica en 1853. Salido de las filas de la artillería, Perrier entraba por sus notas en la Escuela de Estado Mayor de Fontainebleau (París), después de la cual pasó un periodo de entrenamiento práctico en Argelia, en el regimiento de los cazadores. Promovido capitán a su regreso a Francia, en 1861 fue asignado por concurso a la operación geodésica de conjunción de los mapas francés e inglés a través el estrecho del Pas-de-Calais. Esta operación consistió en triangular un mismo territorio, pero con dos equipos diferentes, uno por cada nación, con métodos e instrumentos diferentes, y luego confrontar los resultados obtenidos. Esto permitía crear una especie de base de datos anglo-francesa para traducir luego todas las medidas nacionales. La operación franco-inglesa fue dirigida por un ingeniero geógrafo, el coronel Levret, y por los geodésicos del *Ordnance Survey*. Esta operación fue una oportunidad para comparar distintas prácticas, instrumentos y métodos de análisis y fue una experiencia determinante para el joven Perrier:

“En estos dos años, pudimos ver el funcionamiento del servicio geodésico inglés, admirar sus bellos círculos [Ramsden] y compararlos con nuestros círculos de repetición, estudiar con los geodésicos ingleses y practicar sus métodos de observación y de cálculo. La comparación era aplastante para el Depósito de la Guerra y yo estuve profundamente aterrado” (citado para Darboux, 1903).

Parece entonces que el joven Perrier descubre, a través de los ingleses, que para medir los ángulos, además del método de la repetición de los ingenieros geógrafos, se podía utilizar el método “de reiterar”. El método de reiterar fue mencionado por primera vez en 1799 por el inglés Mudge Williams y utilizado después por Everest en la triangulación de la India del Oeste en 1823.

Después de 1861, Perrier ordenaba a los hermanos Brüner, fabricantes de instrumentos de precisión en París, la construcción del primer instrumento de reiteración francés, el círculo azimutal. Emile y Léon Brüner son los hijos del suizo Josef, quien se estableció en París desde 1828. Ellos heredaron el taller de su padre, 183 calle Vaugirard en París, muy conocido por la gran calidad de sus divisiones de círculos. Josef, como otros manufactureros de ese tiempo, había

fabricado solo su propia máquina divisora. En 1853, Josef fue nombrado “artista de la Oficina de longitudes”, un reconocimiento muy importante para un fabricante de instrumentos de precisión (Brenni, 1996: 3-8). Sus hijos heredaron entonces esta tradición familiar. El círculo azimutal de reiteración sirve solamente para medidas angulares horizontales, lo que es sintomático de una práctica en la cual un único instrumento es utilizado para una medida geodésica específica. El nombre del instrumento se refiere a su propiedad principal: un círculo “a reiterar”, en el cual cada ángulo es medido cuatro veces, partiendo de cuatro líneas equidistantes en el “limbo” –la parte del círculo dividido en grados (200 grados corresponden a 180 grados sexagesimales). Este instrumento se presta entonces para los estudios de los ángulos con el análisis de los errores inventado por los astrónomos alemanes. Además, los lados de cada ángulo se reparten a lo largo de la circunferencia, lo que permite eliminar los errores sistemáticos de división del limbo: en efecto se utiliza toda la circunferencia para medir ángulos, no solamente una parte de ésta como ocurre en el Gambey. En el círculo azimutal el círculo “a reiterar” y el anteojo son sostenidos por un único soporte, lo que hace al aparato más estable y facilita la medida astronómica y la manipulación en el terreno.

En 1867, Perrier es enviado a Argelia para medir un arco de paralelo en la colonia francesa. Entonces, por propia iniciativa, decide experimentar el instrumento y el método de discusión de los errores. Perrier había aprendido este método en la escuela politécnica: Le Verrier, quien dictaba el curso de astronomía y geodesia, no lo enseñaba a sus alumnos, pero su asistente, el astrónomo Hervé Faye, lo enseñaba a los alumnos sin exigirlo en los exámenes. En efecto, en esta época, los académicos franceses discutían sobre la validez de la discusión de los errores “alemanes” y la consideraban un método más teórico que de un verdadero interés práctico. Aunque los científicos se cuestionaban sobre la validez de este método, los oficiales militares, quienes no se ponían problemas sobre su origen sino sobre su utilidad práctica, se servían del análisis de los errores para estudiar cómo se dispersaban los disparos de una arma: se trataba de una manera rudimentaria de estudiar la teoría de los errores, sin embargo, esto demuestra su conocimiento.

El Depósito de la Guerra permitió a Perrier experimentar su instrumento en combinación con la discusión de los errores en parte por la urgencia de cartografiar la nueva colonia francesa, Argelia. El gobierno francés deseaba repartir las tierras entre los colonos franceses, quienes se establecían en masa en Argelia como consecuencia de una crisis agrícola y una grave epidemia de las viñas en Europa que destruyó hectáreas y hectáreas de cultivos. El gobierno francés quiso controlar las nuevas implantaciones agrícolas en Argelia, y favorecer su exportación en Francia a través del establecimiento de una red de comunicación (Schnerb, 1986. Para una historia de la conquista científica de Argelia ver: Pyenson, 1993).

Una noche de 1868, mientras está volviendo a su campamento en Tlemcen (Argelia), Perrier pudo distinguir claramente las costas españolas en el horizonte:

“Seducido por la imprevista e incomparable belleza del espectáculo frente a mis ojos, y no obstante mi extrema fatiga después de un día de extenuantes observaciones, puse rápidamente mi círculo en posición de observación y calculé el azimut respecto a la cima del monte Tessala” (Perrier, 1885).

Esta sorpresa de Perrier no proviene tanto del espectáculo de la costa española, lo que tiene que sorprender porque está a una distancia de 270 Km., sino a la posibilidad de unir el arco de meridiano francés hasta Argelia sin pasar por el estrecho de Gibraltar (que es inglés). La prolongación del meridiano parecía necesaria para cartografiar exactamente la colonia francesa, pero el capitán no fue el único en pensar en esta conjunción: por ejemplo, Arago y Biot habían también escrito sobre la posibilidad, un día, de unir Europa a África si la primera hubiera querido colonizar la segunda. De vuelta a París en enero 1869, Perrier se apuró para preparar un mapa a gran escala de las costas argelinas y españolas y lo presentó a Faye. Este astrónomo era partidario de nuevas operaciones geodésicas: desde 1852, Faye había propuesto a sus *confrères académiciens* (sabios colegas) corregir el arco de meridiano de Delambre y Méchain. Desde 1853, Faye se había lanzado en una nueva campaña por desarrollar la geodesia: de esta época son muchos escritos de él y de otros sabios sobre la “crisis” de la geodesia francesa, escritos que algunos historiadores han seguido para describir un estado de atraso de la geodesia francesa en comparación con la alemana (Rondeau Jozeau, 1997). Como lo muestra el ejemplo de Perrier, hay que redimensionar este asunto de la crisis, que constituye un pretexto habitualmente utilizado en los discursos de académicos y oficiales militares, para que el gobierno dé nuevos recursos.

Volviendo a Faye, él tenía su propio interés en proponer nuevos estudios de geodesia, pues trataba de verificar sus especulaciones geológicas. Hay que decir que la geología, la determinación de la vertical de un lugar geográfico y la medida de un arco son todos estudios conexos. En efecto, para calcular la longitud de un arco de meridiano, se tienen que medir las latitudes de las dos estaciones extremas de la cadena de triangulación. Ahora, la definición de latitud, que es la distancia angular del lugar geográfico desde el ecuador terrestre, depende de la definición de la vertical. Hay dos definiciones de vertical: la vertical normal es perpendicular a la superficie teórica de la tierra (elipsoide), cuando la vertical real es perpendicular a la superficie verdadera e irregular de la tierra (llamada geoide). Lo interesante es que la longitud del arco de meridiano es muy distinta si la medida se refiere a la una o a la otra definición de vertical. Los astrónomos llaman atracción local o desviación del hilo a plomo, la desviación de la vertical real desde la normal, lo que indica la presencia de una anomalía o de una protuberancia del geoide. En el siglo

XIX el estudio de este fenómeno es la mejor manera de estudiar la forma del geode. Los astrónomos habían meditado sobre las causas de este fenómeno: las desviaciones parecían las consecuencias de la teoría de la gravitación de Newton, pues las montañas se consideran entonces como una gran acumulación de materia. Según esta interpretación, el hilo a plomo puesto en proximidad de una montaña tiene que desviar la masa del plomo y los instrumentos de la segunda mitad del siglo XIX son capaces de medir estas desviaciones. Pero, en esta misma época, nuevas observaciones del hilo a plomo contradecían esta teoría de la atracción newtoniana. Por ejemplo, en 1855, el reverendo Pratt, arzobispo de Calcuta (India), pudo medir solo una desviación muy pequeña en la cercanía del monte Himalaya. Otro dato extraño era el de Carlini, geodésico italiano, quien en 1821, a Mondovi (Norte de Italia), medía una desviación muy grande sin que haya montañas tan altas en las cercanías (Schiaparelli, 1896).

A partir de estas observaciones, Faye conjeturó la existencia de relaciones muy profundas entre geología y geodesia. Entonces solicitaba nuevas medidas de arco de meridiano al fin de dar soportes a su teoría que las montañas tenían una estructura específica y unos estratos internos que no eran sólidos. De los geodésicos franceses, Faye se atendía entonces un estudio más profundo del aspecto físico del territorio, un estudio que no se fundaba solamente sobre los cálculos, así como lo estaban haciendo los alemanes con sus teorías de los errores (Faye, 1864: 1-20).

Es claro entonces que Faye aprobó con entusiasmo el proyecto sometido por Perrier de corregir el arco de meridiano y de prolongarlo hasta Argelia. Con el apoyo de Faye, Perrier pedía autorización a la comisión de geodesia de la Oficina de longitudes. El capitán, con astucia, propuso la operación como urgente, pues los ingleses, según él mismo había escuchado en la unión de Gran Bretaña con Francia, habían criticado los errores del arco medido por Delambre y Méchain. Esto se traducía, según Perrier, por una pérdida de prestigio para Francia, pues el meridiano daba fundamento al metro. El capitán hacía también referencia a los trabajos recientes del astrónomo Antoine Yvon-Villarceau, quien en 1864-65 había constatado que sus medidas angulares astronómicas no coincidían con las de geodesia. Perrier proponía que los errores estaban en una medida angular hecha con un instrumento inadecuado -el círculo Gambey- y proponía el uso de su círculo “a reiterar”.

La mayoría de los miembros de la Oficina de longitudes aprobaba la corrección del arco francés y su prolongación hasta Argelia, pero no su presidente, el mariscal Jean-Baptiste Philibert Vaillant, quien estaba convencido que Perrier no poseía los requisitos para llevar a buen fin esta tarea. Vaillant objetaba que el Depósito de la Guerra, después de la abolición del cuerpo de ingenieros geógrafos, no poseía un personal calificado y los recursos técnicos para dicha empresa. El mariscal demandaba la creación de un cuerpo especial, reclutado en la Escuela politécnica

y entrenado en el observatorio de París. Pero el apoyo de Faye fue decisivo: un informe positivo fue entregado al ministro de la Instrucción Pública, Víctor Duruy, y al mariscal Adolphe Niel, ministro de la guerra. Perrier ya le había explicado a Niel las ventajas de la operación para los militares: la medida significaba reorganizar el Depósito de la Guerra: es el terreno, explicaba Perrier, la escuela de operaciones práctica de geodesia. Las medidas realizadas en el terreno, brindarían conocimientos a aquellos oficiales que estudiaran con el apoyo y bajo la dirección de los sabios académicos. Además, sigue Perrier, los oficiales podrían disfrutar de nuevos instrumentos fabricados por los fabricantes de la Oficina de longitudes, sin contar que, una vez concluida la medida, el Depósito de la Guerra sería la única institución francesa en poseer la triangulación exacta de Francia y de su colonia, lo que era necesario para los militares y para los civiles como base para un mapa más moderno del país. Poseedor del material y de los recursos humanos, así como de los datos de la primera triangulación, el Depósito de la Guerra hubiera sido el encargado del diseño del nuevo mapa.

En 1870, el gobierno francés otorgaba a Perrier los recursos para la medida del arco de meridiano. El nuevo arco de meridiano une Gran Bretaña al norte y Argelia al sur, pasando por Francia y por la península española: es un inmenso arco de meridiano, de una longitud de más de 27 grados, que corre desde las islas Shetland hasta Laghouat, en el desierto del Sahara. Es suficiente considerar su extensión para entender que la operación tiene también una importancia simbólica, pues establece la colonización europea de África. En la práctica, la conjunción franco-argelina brinda la transmisión del tiempo desde la capital francesa a la colonia, sirviendo de base a la cartografía sucesiva del país necesaria para establecer una red de ferrocarril y nuevas rutas para el comercio. La explotación intensiva del territorio en cereales, hortalizas, aceitunas, demandaba un transporte rápido y controlado de las mercancías hasta los puertos. Así, junto con el control demográfico, la cartografía era el medio de la metrópoli para controlar el nuevo capitalismo agrícola y las riquezas mineras del país.

Pero la guerra contra Prusia, en 1870, interrumpió los trabajos que acababan de empezar. El conflicto fue no obstante una ocasión para Perrier de mostrar al gobierno francés la mala organización del Depósito de la Guerra. Después de la movilización, el depósito fue vaciado de su personal: Perrier y los otros oficiales fueron asignados a unas tareas de mandamiento para las cuales no estaban preparados, y las tropas en la batalla recibían desde París mapas incompletos o inadecuados. En 1872, una vez establecida la paz, el ministro de la Instrucción pública, Jules Simon, quiso investigar las causas de la que llamó “inferioridad geográfica francesa”. Sin embargo, aunque la geodesia no es geografía, Perrier trajo beneficios de esta campaña en favor de la geografía. En efecto, la derrota francesa de 1870 significaba también el nacimiento de la tercera república: los republicanos al poder retomaron la expansión colonial que había sido interrumpida desde el final del

Segundo Imperio (1815). Los oficiales geodésicos no están directamente implicados como la Marina o la Artillería en la conquista colonial. Ellos más bien acompañan estas expediciones, pero juegan un papel decisivo para establecer la colonia y el comercio. Son ellos quienes participan de la administración de las tierras y del establecimiento de sus confines. Por estas razones, Perrier logró traerse el apoyo de los nuevos dirigentes políticos, Léon Gambetta y Jules Ferry. Gracias a ellos, logrará transformar, en 1887, el Depósito de la Guerra en un *Service géographique de l'armée* (Servicio geográfico del ejército), destinado a estudiar la geodesia y su utilidad para la cartografía en relación con los problemas militares. Perrier tomará la dirección de este nuevo servicio.

Volvemos a 1872. Con el apoyo de Gambetta y Ferry, Perrier dio un nuevo impulso a los trabajos geodésicos. La guerra perdida permitía a Perrier mostrar cómo los trabajos geodésicos hubieran podido ofrecer una descripción precisa del territorio sobre el cual se realizaban las operaciones militares: en un escrito bastante crítico publicado en 1872, Perrier explica que la geodesia tiene que transformarse en una profesión para el militar. No es suficiente, según Perrier, dedicarse sólo dos años, como lo hacen los oficiales de Estado Mayor, al estudio de la preparación de un mapa: la geodesia demandaba estudios profundos y un largo proceso de aprendizaje en el terreno, donde los practicantes tenían que entrenarse con los delicados instrumentos astronómicos adaptados al trabajo en el terreno. El discurso de Perrier tuvo éxito también por razones militares: por primera vez, en la guerra contra Prusia fueron utilizados cañones cargados por la culata, una innovación que permitía a las armas moverse más rápidamente en el terreno. También podemos recordar la introducción de cañones con un alma rayada (es decir, con un interno trabajado a espiral), lo que permite al proyectil rodar en vuelo: eso estabiliza su trayectoria y le da un mayor poder perforante. El alcance del proyectil es entonces mayor y el tiro más preciso. Movilidad sobre el terreno, estabilidad en el tiro, un alcance mayor de tiro: esto significa más precisión en el ataque. Entonces, una triangulación del terreno y un mapa que permitan preparar un ataque parecen no solamente indispensables, sino que pueden ser esenciales para ajustar el tiro.

Los trabajos de terreno

Pasamos ahora a estudiar los trabajos de terreno. El proyecto de Perrier tiene dos partes: la revisión del arco de meridiano de Delambre y Méchain y su unión con Argelia. La primera operación se realiza desde 1872, la última gran operación que es la extensión del meridiano argelino hasta el Sahara, en 1895. La segunda empezó solamente en 1879, después de haber organizado los trabajos de terreno y haber obtenido el acuerdo del gobierno español.

La operación entera tomó un tiempo más largo que los cuatro años previstos al principio. Los geodésicos eran pocos y podían trabajar sólo bajo buen clima. Ade-

más los trabajos seguían al mismo tiempo en Francia y Argelia. A estos detalles, hay que añadir que la triangulación del terreno significaba sobretodo entrenamiento de los militares en las tareas geodésicas y la experimentación de nuevos instrumentos.

La medida de un arco es entonces una operación complicada y larga que toma años para realizarse en el terreno, que demanda unos recursos importantes y seguidos del Estado y un entrenamiento de los profesionales en las observaciones astronómicas. Una vez en el terreno, la medida no se puede improvisar: el oficial tiene que ser competente en la organización y la gestión de todos los recursos materiales y humanos.

Perrier empieza con el estudio del territorio para identificar los lugares adecuados para establecer las estaciones de observación. Utiliza este estudio para determinar una altitud de referencia con la cual establecer las otras altitudes. Esta operación se llama nivelación del territorio. El mapa del Estado Mayor no tenía nivelación: en este mapa los niveles son hechos con un sombreado, lo que indica de una forma muy aproximativa los relieves. La nivelación que quiere Perrier se acordaba con el programa de estudio geológico de Faye, pero también de los trabajos públicos: en 1878, una comisión fue organizada por el ministro de Obras públicas con el fin de realizar un mapa más detallado de Francia a partir del arco de meridiano corregido.

Después del estudio del territorio, Perrier verificó la primera triangulación, que se desarrolla sobre tres bases: *Cassel* en el norte, *Melun*, en las cercanías de París, y *Perpignan*, en el sur. Bajo sugerencia de la Oficina de longitudes, Perrier midió todas las bases con un aparato de longitud más moderno, fabricado por los hermanos Brünnner.

Los ángulos de primera triangulación no fueron medidos desde la cima de un campanario o de una torre: Perrier hizo fabricar unos observatorios de madera que permitieran ponerse en el centro exacto de la estación y también sostener los instrumentos de observación de manera independiente del observador. Siguiendo los consejos de Yvon-Villarceau y Elie de Beaumont, Perrier experimenta la observación de señales nocturnas: estas señales eran desaconsejadas por los ingenieros geógrafos, quienes miraban la señal luminosa de un fuego. El trabajo del geodesta tiene que seguir las condiciones meteorológicas: hacer observaciones nocturnas, cuando sean posibles, permite entonces aumentar el número de medidas angulares. Perrier y su alumno, Léon Bassot, probaron que las observaciones nocturnas eran particularmente eficaces para las medidas azimutales solamente cuando se utilizaban unas señales adecuadas y unos proyectores en los cuales la óptica estaba finamente estudiada. Perrier y Bassot buscaban un tipo de proyector simple, que fuera visible de lejos, fácil de transportar y sin movimientos de relojería que causaban siempre problemas cuando sus mecanismos se paraban. La colaboración entre astrónomos, oficiales y fabricantes de instrumentos se mostró decisiva en la

búsqueda de una solución: Yvon-Villarceau puso en contacto a Perrier con el fabricante de instrumentos Louis Breguet (Brenni, 1996: 19-24). El taller de Breguet era un lugar de encuentro para científicos como Arago, Alfred Cornu o el fisiólogo Etienne Marey, así como para los oficiales. Breguet mostró a Perrier los colimadores para transmisiones de óptica telegráfica que había fabricado para el coronel Mangin. Perrier lo contactó, y estudió con el coronel unos colimadores ópticos más adaptados a la geodesia. Estos aparatos tenían que ser fáciles de instalar en el terreno; la luz debía ser fácil de calibrar y todo el aparato tenía que poderse desmontar para ser guardado en una caja sólida, a fin de evitar los accidentes en el transporte. Mangin fabricó un aparato con lámpara que quemaba petróleo, un combustible barato y fácil de conseguir en las pequeñas ciudades. Una vez prendida, la luz era bien protegida contra el viento, y podía verse a la vista hasta 70 Km. en buenas condiciones meteorológicas.

Para las medidas angulares, Perrier puso el círculo a reiteración en una posición vertical: el círculo meridiano, ya utilizado por los astrónomos en un modelo mucho más grande y fijó en el observatorio astronómico, se convertía entonces en un instrumento portátil. El círculo azimutal pesa en efecto 60 kg. y puede entonces cargarse en el lomo de una mula; el círculo meridiano se puede desbaratar en dos partes, círculo y soporte, y puede igualmente transportarse.

Para la unión de las costas españolas y argelinas, Perrier modificó el instrumento azimutal con un sistema de iluminación de las divisiones del limbo, y puso un hilo móvil en el ocular del telescopio. Pero para medir una distancia óptica de 270 km., el capitán tuvo que buscar una fuente de luz más fuerte que la de las estaciones: intentó con diferentes reflectores de luz en París y con una luz producida por la combustión de una mezcla de oxígeno e hidrógeno o magnesio. Esta luz era bien brillante y visible desde lejos, pero no era fácil de producir y necesitaba un entrenamiento particular del soldado que cuidaba la flama. Perrier decidió utilizar la luz eléctrica, aunque su producción fuera muy costosa: los proyectores Mangin fueron adaptados para emitir luz eléctrica. A través de los miembros de la Oficina de longitudes, Perrier entró en contacto con el hijo de Louis Breguet, Antoine, quien tenía el *brevet* de la máquina magnetoeléctrica de Zenobe Gramme. Los talleres Breguet empezaron entonces la producción industrial de la máquina conjunta con la fabricación de electricidad. En las estaciones geodésicas de España y Argelia, la máquina Gramme funcionaba con una máquina de vapor. Nuevos caminos fueron entonces construidos en regiones difíciles cerca de las costas españolas y argelinas, para colocar fuentes de agua y de carbón para la producción de fuerza motriz.

Sin embargo, el problema mayor de Perrier era el de formar un personal entrenado en las observaciones geodésicas: así escribía: al “*coup d’oeil*”, es decir a la rapidez de reacción en la observación, “el buen observador tiene que unir la honestidad, lo que permite observar solamente en las condiciones favorables” (Perrier, 1885). En sus reportes a la Academia de las Ciencias, Perrier nos hace entender que el solo instrumento no es suficiente para hacer una buena medida: el entrenamiento y una larga experiencia en el terreno eran igualmente necesarias para calibrar el ojo a las observaciones geodésicas: “el ojo”, escribía, “observando el mismo objeto un gran número de veces en un tiempo relativamente corto, aprende a observar siempre de la misma manera” (Perrier, archivo). La medida de arco tomó entonces un tiempo tan largo no solamente debido a la búsqueda de instrumentos apropiados, a las condiciones meteorológicas difíciles o a la construcción de las estaciones geodésicas, sino debido a la necesidad de entrenar y de formar un personal competente en los trabajos de terreno. En 1874, Perrier hizo construir un pabellón en la proximidad de Argel para entrenar los oficiales en las observaciones. Dotado de los más modernos instrumentos de geodesia, el pabellón sirvió para la educación de los militares y como estación fundamental de toda la red geodésica argelina. Una vez insertado en esta red, el pabellón estaba listo para convertirse en la estación astronómica primaria de Argelia.

Perrier estableció un lugar de entrenamiento también en París: en 1875, la Oficina de longitudes fue autorizada por la alcaldía de París a tomar posesión de un espacio en el parque Montsouris, a unos dos kilómetros al sur del Observatorio astronómico. Este sitio estaba destinado a entrenar los marineros, los viajeros y los geodésicos en las observaciones geodésicas. Los oficiales se entrenaban igualmente con los astrónomos, incluyendo Yvon-Villarceau, Maurice Loewy y Le Verrier. Por ejemplo, en 1874, Bassot fue asignado a Le Verrier para realizar unas observaciones astronómicas en la *Bastide du Haut Mont (Cantal)*. Entre 1876 hasta 1892, Bassot aprendió otras observaciones astronómicas, sobre todo a calcular diferencias de longitudes con el telégrafo. Algunas de estas 21 medidas fueron importantes operaciones internacionales, como la de Leiden y París (1884), de Greenwich y París (1888 y 1892), de Madrid y París (1886). Bassot se volvió el observador indicado para tomar posesión de una de las cuatro estaciones de triangulación España-Argelia.

La unión España-Argelia

La extensión del arco de meridiano europeo en África era el corazón de la operación geodésica de Perrier: el Mar Mediterráneo fue atravesado por un gran cuadrilátero, los vértices del cual eran las cimas de Tetica y Mulhacén, en la Andalucía española, y las de Filhaussen y M’Sabiha, en la provincia argelina de Oran. Las estaciones españolas fueron ocupadas por el astrónomo español Miguel Melchor Merino y por el coronel Joaquín Barraquer, las argelinas por Perrier y

Bassot. La operación demandó la educación del personal español en los instrumentos y métodos de observación franceses. El personal militar español estaba bajo la dirección del general Carlos Ibáñez de Ibero, pero fue Perrier quien dirigió los trabajos de campo y quien eligió los instrumentos de fabricación francesa. Merino, el coronel Barraquer y el general Ibáñez, llegaron en París poco antes de la unión España-Argelia para tomar posesión de los instrumentos y aprender su manipulación. Merino, un experto en las medidas de diferencia de longitud, era entonces profesor de geodesia en el Instituto geográfico de Madrid. Estaba trabajando en la preparación de la red geodésica española.

Para calcular las diferencias de longitudes de dos estaciones, es decir, la diferencia horaria de las dos estaciones, es necesario calcular con mucha precisión la hora de cada estación. Prácticamente, esto significa que el geodésico debe conocer cómo funciona su péndulo y qué retardo puede producir. Perrier no disponía de un cable submarino para transmitir telegráficamente la hora desde España a Argelia, entonces tenía que medir la marcha del péndulo a través del intercambio de señales luminosas. Ahora, observar una señal luminosa es como observar una estrella; entonces Perrier decidió corregir cada observación con la “ecuación personal” de cada observador.

La “ecuación personal” fue introducida en 1810-1820 por Bessel para explicar las diferencias encontradas entre sus propias observaciones y los resultados en Greenwich (Schaffer, 1988: 115-146). Esta ecuación fue en seguida utilizada en los observatorios astronómicos europeos no solamente para explicar las variaciones en la inscripción del tránsito de una estrella de cada observador, sino para controlar el personal que trabajaba en los observatorios. Desde 1850 Airy había inventado las “estrellas artificiales”, un dispositivo que producía unas señales artificiales del mismo tamaño de las estrellas y con el cual entrenaba y seleccionaba los buenos de los malos observadores (Schaffer, 1988: 115-146).

Perrier y Merino no tenían que calcular solamente sus “ecuaciones personales” respectivas. El oficial francés se proponía utilizar las observaciones para establecer el ritmo correcto de luz y oscuridad de las señales rítmicas, y ajustar la cadencia de la parte mecánica del proyector que interrumpía las señales luminosas produciendo el ritmo adecuado de luz y oscuridad. Estos experimentos fueron realizados en el pabellón del Depósito de la Guerra en el parque Montsouris y en el observatorio de París. La luz, enviada desde el pabellón, era observada por Perrier y Merino en la plataforma del observatorio astronómico: cada señal observada era registrada en un cronógrafo fabricado por los hermanos Brünnner. El cronógrafo estaba compuesto por un rollo de papel sobre el cual se diseñaban tres líneas gráficas: una indicaba los segundos del péndulo del observatorio y las otras dos, los momentos en los cuales cada observador veía la señal luminosa. Merino y Perrier observaron varios miles de señales, cambiando de anteojo en cada serie de observaciones. La “ecuación personal” del oficial y del astrónomo fue evaluada en 0,124 segundos,

lo que es un valor aceptable si se considera que la del tránsito de una estrella podía variar entre 0,1 y 0,01 segundos. Perrier concluía que él y Merino eran buenos observadores “por naturaleza”. Perrier establecía también que el apropiado ritmo de luz tenía que ser de dos segundos entre cada luz y cada oscuridad.

Una vez preparado el personal y equipadas las estaciones con los proyectores eléctricos, tuvieron que pasar diversas semanas antes de encontrar el día apropiado de observación, el 9 de septiembre 1879, después de un fuerte aguacero que purificó el aire. Las observaciones geodésicas y astronómicas duraron varios meses y probaron ser un éxito.

La unión Francia-Argelia trajo honor a Perrier, a sus métodos de medidas y a su instrumento: el círculo reiterativo se convirtió en esencial para la práctica geodésica. El éxito del instrumento dio honor también a los hermanos Brünner y a sus maneras de trabajar. Los Brünner consideraban cada instrumento “individualmente” como la obra de un solo obrero altamente calificado, un verdadero “artista”. En la opinión de Gustave Yvon, un fabricante muy famoso a principios del siglo XX, desde luego el desarrollo de la producción en serie de instrumentos de precisión fue frenada por la concepción artística del instrumento científico de los hermanos Brünner -en realidad, hay que tener en cuenta también la manera de trabajar de los científicos de la óptica en este tiempo (Brenni, 1991. Sobre la manera de trabajar de los científicos de la óptica ver: Dörries, 1994: 1-36; Blondel, 1998: 245-271; Bigg, 2001; Schiavon, 2003).

El éxito del círculo originó también un conflicto entre Perrier y el hidrógrafo Bouquet de la Grye, quien reivindicó, en 1879, la paternidad del instrumento: Bouquet afirmaba que el círculo estaba hecho sobre unos dibujos que él había dejado en el taller de los hermanos Brünner, y que él había sido el primero en utilizar el método de la reiteración, mucho tiempo antes que Perrier. Pero el capitán se defendió con éxito de estas acusaciones: él admitía que el círculo no era por entero su invención, sino una combinación de conocimientos de la astronomía y de las capacidades manuales de los hermanos Brünner. Pero, afirmaba, que el éxito del instrumento no dependía solamente de una invención, sino del hecho de haber adaptado esta invención a la práctica geodésica, a los trabajos en el terreno: desde 1864 Perrier estaba experimentando con el círculo en el terreno, le había hecho muchas modificaciones, lo había estudiado en relación con la teoría de los errores, había estudiado y experimentado su uso en combinación con el contexto humano y material disponible. Este “contexto” es tan importante como la técnica para el éxito de un instrumento: en efecto, no se trataba sólo de proponer una invención, sino de estudiar la aproximación instrumental del objeto en función de la teoría y de la manera de organizar los recursos humanos y materiales sobre el terreno.

En diciembre de 1879, Perrier fue admitido a la Academia de ciencias, en su sección de geografía y navegación. El ingreso en la prestigiosa sociedad tiene un

valor simbólico: los académicos reconocían el valor de una disciplina del observatorio, la geodesia, y de una institución, la Oficina de longitudes, que habían probado su utilidad para el Estado.

Para la carrera de Perrier, el prestigio obtenido en la medida de arco le permitió crear el Servicio Geográfico del Ejército en 1887 y tomar su dirección. Instalado en el edificio Hôtel de Sens, 140 calle Grenelle, en el centro de París, el Servicio comprendía tres secciones que correspondían a las tres etapas de fabricación de un mapa, cartografía, topografía y geodesia, esta última en la dirección de las otras. El servicio mantenía, gracias a su director, un contacto permanente con el ministro de la Guerra y con las sociedades sabias, la Academia de las ciencias y la Oficina de longitudes en premier lugar. A diferencia del Depósito de la Guerra, no tenía que ser desmantelado en tiempo de guerra, lo que le permitió desarrollarse durante la Primera Guerra mundial. Este conflicto constituye una etapa decisiva para difundir las técnicas y los conocimientos del observatorio astronómico, pero también un momento en el cual la geodesia se separara inevitablemente de la astronomía convirtiéndose en una disciplina autónoma, altamente especializada, absorbiendo nuevas técnicas para hacer mapas, como la observación aérea.

Conclusión

Hoy en día, si leemos un libro de geodesia, encontraremos miles de datos, de fórmulas matemáticas y de definiciones astronómicas: la geodesia constituye una disciplina altamente especializada, esencialmente teórica y matemática. El geodesta trabaja todavía en el terreno, pero con un instrumento muy sofisticado, el GPS –*Global positioning satellite*– que permite casi instantáneamente saber, gracias a una señal de satélite, qué posición está ocupando en la superficie de la tierra. Además, después de la Segunda Guerra Mundial, la geodesia tiene implicaciones muy directas en la determinación de las trayectorias de armas de largo alcance, puesto que permite estudiar cuáles son las influencias del campo gravitacional sobre la trayectoria de un misil -lo cual permite los “golpes quirúrgicos” utilizados, por ejemplo, en las recientes guerras. En resumen, la geodesia de hoy tiene poco que ver con la geodesia del siglo XIX. Esta ciencia ha entonces evolucionado. En la segunda mitad del siglo XIX, la medida de un arco terrestre es un ejemplo de cómo se hacía ciencia geodésica en esta época. Podemos decir que la geodesia era entonces sobre todo un “arte del terreno”. Es en el terreno que se veía cómo interactuaban instrumentación, *savoir-faire* (tacto o conocimiento práctico), métodos de cálculos y teorías. Los académicos animaron esta manera de hacer ciencia a través de la práctica de terreno que constituía una manera de progresar en el conocimiento científico. En el terreno se aprendía cómo observar, se podía mostrar cuál era el talento en la observación –qué se caracterizaba como “una conciencia rigurosa”, como “paciencia”, como “disciplina de trabajo” y como

capacidad de juzgar una medida y reconocer, en los miles de datos de un fenómeno físico, la regularidad de una ley. Es importante subrayar cómo en la medida de arco se producían miles y miles de datos, se pasaba un largo tiempo, a solas, con un instrumento, en un ambiente desconocido y muchas veces hostil. En estas condiciones, los oficiales eran los más adecuados: repitiendo las palabras de Henri Poincaré, quien mostraba a los académicos cómo los militares eran perfectos para realizar una medida de arco en Perú, Ecuador y Colombia en el principio del siglo XX:

“Hay que ser capaz de soportar grandes fatigas, en países sin recursos y bajo todos los climas; hay que poder conducir a los hombres y obtener la obediencia de sus colaboradores. Todas estas cualidades intelectuales, morales y físicas están reunidas en nuestros oficiales del Servicio geográfico. Y lo que no podremos conseguir en ninguna otra parte, es la cohesión, la costumbre de trabajar juntos y aplicar los mismos métodos, la disciplina que permitirá hacer rápido y sin incertidumbre” (Poincaré, 1900: 215-236).

Los oficiales eran entonces aptos y fieles en el plano científico y nacional, eran más preparados que los científicos para hacer este tipo de ciencia en el terreno.

El estudio de una medida de arco nos permite también investigar una categoría de trabajo muy original de la metrología o ciencia de las medidas de precisión. Hasta ahora, la metrología fue estudiada como una actividad multiforme del laboratorio universitario, como creación de normas y de estándares, como calibración de algunos instrumentos, como peritaje industrial, como fabricación de los estándares del Estado o de una particular investigación técnico instrumental de los científicos. Sin embargo, esta historia muestra una categoría de trabajo diferente, la del terreno, que se caracteriza por las dificultades de instalar y leer los instrumentos en el territorio, las incertidumbres causadas por las condiciones meteorológicas y climáticas, la imposibilidad de seguir con exactitudes las reglas metodológicas creadas en el laboratorio. La metrología de terreno necesita así de una forma de coordinación del trabajo científico inédita porque moviliza muchos grupos sociales, los oficiales y los fabricantes de instrumentos además de los científicos. Como se ha leído en esta historia, lo que finalmente aprendemos del estudio de los intercambios entre estos grupos sociales, es que la medida científica depende siempre del medio ambiente en el cual se opera, de sus finalidades y de sus utilidades: los instrumentos nunca pueden funcionar en un vacío contextual.

MARTINA SHIAVON

Centro Alexandre-Koyré, París

E-mail: martina.shiavon@libero.it

Referencias

- ALDER, Ken, "A Revolution to Measure: the Political Economy of the Metric System in France". In, Wise Norton, M. (ed.) *The Values of Precision*. Princeton. Princeton University Press. 1995 pp. 39-70.
- BELHOSTE, Bruno., DHAN-DAL-MEDICO, Amy., Y PICON, André, (dir.) *La formation polytechnicienne, 1794-1994*. Paris. Dunod. 1994.
- BELHOSTE, Bruno., DAHAN-DAL-MEDICO, Amy., PESTRE, Dominique., y PICON, André (dir.) *La France des X. Deux siècles d'histoire*. Paris. Economica. 1995.
- , *La formation d'une technocratie. L'Ecole polytechnique et ses élèves de la Révolution au Second Empire*. Paris. Belin. 2003.
- BIGG, Charlotte, *Behind the Lines. Spectroscopic Enterprises in Early Twentieth Century Europe*. Ph.D. King's College, Cambridge. 2001.
- BLONDEL, Christine, "Les physiciens français de l'électricité industrielle à la fin du XIX siècle". *Rivista inter-nazionale di storia della scienza*, 1998. XXXV: 245-271.
- BRENNI, Paolo, *L'industria degli strumenti scientifici in Francia nel XVIII e XIX secolo, Storia delle scienze, gli strumenti*. Torino. Einaudi. 1991.
- , "The Brunners and Paul Gauthier". *Bulletin of Scientific Instruments Society*, 49: 3-8. 1996.
- , "Louis Clément François Breguet and Antoine Louis Breguet". *Bulletin of the Scientific Instrument Society*, 1996. 50: 19-24.
- BRET, Patrice, "Le Dépôt de la Guerre et la formation des ingénieurs-géographes militaires en France, 1789-1830". *Annals of Science*, 1991. 48: 113-157.
- DARBOUX, Gaston, *Eloge Historique de François Perrier*. Paris. Firmin-Didot. 1903.
- DÖRRRIES, Mattihas, *Studies in the history and philosophy of science*, 25: 1-36. 1994.
- FAYE, Hervé, (relator) "Sur l'état actuel de la Géodésie et sur les travaux à entreprendre par le Bureau des Longitudes de concert avec le Dépôt de la Guerre pour compléter la partie astronomique du réseau français". *Connaissance des temps pour 1864*: 1-20.
- LAFUENTE, Antonio, PESET, José L., *Revue d'histoire des sciences*, 37 1984 (3-4): 235-254.
- PERRIER, François, "Nouvelle Méridienne de France". *Mémorial du Dépôt de la Guerre*: 1-21. 1885.
- , "Travaux". *Archivo de la Académie des Sciences de Paris*.

- POINCARÉ, Henri, "Rapport sur le projet de révision de l'arc de méridien de Quito". *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, 1900. 131 (2): 215-236.
- PYENSON, Lewis, *Civilizing Mission. Exact Sciences and French Overseas Expansion, 1830-1940*. Baltimore y Londres. The Johns Hopkins University Press. 1993. pp. 87-127.
- RONDEAU, Jozeau, MARIE, Françoise Géodésie au XIXe siècle: de l'hégémonie française à l'hégémonie allemande. Regards Belges. Compensation et méthodes des moindres carrées. Ph.D. Université de Paris 7. París. 1997.
- SCHAFFER, Simon, Astronomers mark time: discipline and the personal equation. *Science in context*, 1988. 2 (1): 115-146.
- SCHIAPARELLI, Virginio, "Sulle anomalie della gravità. Discorso letto alla Società italiana di scienze naturali in Milano, 1 marzo 1896". Milan. Biblioteca dell'Osservatorio Astronomico de Brera 1896.
- SCHIAVON, Martina, "François Perrier et la Nouvelle Méridienne de France (1870-1895): un savant officier rénovateur de la géodésie militaire française". *Revue Scientifique et Technique de la Défense – Aperçus historiques sur la recherche de Défense*, 55: 65-77. 2002.
- _____, Itinéraires de la précision. Géodésiens, artilleurs, savants et fabricants d'instruments en France, 1870-1930 (environ). Ph.D. Ecole des Hautes Etudes en Sciences Sociales. París. (2003).
- _____, "Nineteenth-Century Geodesy: The New french Meridian (1870-1895)". A aparecer in, Bigg, Charlotte, Aubin, David y Sibum, Otto H. *The Heavens on Earth*. 2004.
- SCHNERB, Robert, Le monde musulman de l'Asie centrale russe au Maroc. In, Crouzet, M. (dir.) *Histoire générale des civilisations. Le XIXe siècle. L'apogée de l'expansion européenne (1815-1914)*. t.VI. París. Presses Universitaires de France. 1986 pp. 347-379.
- SHINN, Terry, *L'Ecole Polytechnique, 1794-1914. Savoir scientifique et pouvoir social*. París. Presses de la fondation nationale des sciences politiques. 1980.

Recibido JUN. de 2004 - Aceptado SEPT. de 2004