JORGE JUAN Y LAS TRANSFERENCIAS DE TECNOLOGÍA A MEDIADOS DEL SIGLO XVIII. LA MÁQUINA DE VAPOR

Juan Helguera Quijada
Universidad de Valladolid

En julio de 1748, Jorge Juan, en estrecha colaboración con su amigo y compañero de la expedición geodésica al Virreinato del Perú, Antonio de Ulloa, ultimaba la redacción y publicación de los resultados de la misma, tarea en la ambos se venían ocupando desde su regreso en 1746, bajo la protección del marqués de la Ensenada. Fue entonces cuando este ministro anunció al duque de Huéscar, embajador de España en París[1], que tenía el proyecto de enviar a los dos marinos al extranjero, con un doble propósito: informarse de las últimas novedades técnicas, y hacer de guías y tutores de jóvenes pensionados españoles en viajes de ampliación de estudios a las principales capitales europeas. Éste es, que nosotros sepamos, el primer testimonio escrito de la preocupación de Ensenada por el atraso técnico, y de su intención de recurrir al espionaje industrial y al envío de estudiantes españoles al extranjero.

Por esas mismas fechas se estaba negociando en Aquisgrán el tratado de paz que puso fin a la Guerra de Sucesión de Austria y tuvo importantes repercusiones sobre la política española, no sólo en el ámbito de las relaciones internacionales, sino también a nivel interno. En efecto, con la firma de dicho tratado, en octubre de 1748, España salió de una serie casi ininterrumpida de guerras dinásticas, que desde comienzos del siglo XVIII habían venido absorbiendo la mayor parte de los recursos financieros del Estado, repercutiendo muy negativamente sobre la economía nacional. Así lo reconocería explícitamente el propio Rey Fernando VI, en el preámbulo de la

1. Véase la obra citada en la nota 11.

Ordenanza de Intendentes Corregidores[2], que constituye una de las primeras formulaciones, a nivel programático, de la nueva política reformista. A partir de entonces, el gobierno de Fernando VI, liberado de la pesada carga financiera del esfuerzo bélico, pudo dedicar una parte creciente del presupuesto a la reconstrucción interior y a la modernización económica del país.

Como es bien sabido, el principal artífice de esa nueva política reformista fue el Marqués de la Ensenada[3], el más influyente ministro de Fernando VI, que desempeñó simultáneamente las Secretarias de Hacienda, Guerra, Marina e Indias. Bajo su impulso, se puso en marcha una profunda reforma fiscal, con el proyecto de la Única Contribución; se emprendió un ambicioso plan de mejora de las comunicaciones interiores, con la construcción de las primeras carreteras modernas propiamente dichas –el Camino Real de Reinosa a Santander y el del Puerto de Guadarrama–, y del primer canal de navegación: el Canal de Castilla. También se promovió la reindustrialización del país, con el fomento de las manufacturas sustitutivas de importaciones.

Pero la política reformista de Ensenada se extendió también al ámbito militar. Si se toma la Gran Representación de 1751 como la exposición más detallada de su proyecto reformista[4], se advertirá de inmediato que el reforzamiento del Ejército y, sobre todo, de la Marina, constituía para Ensenada un objetivo prioritario. Tras el advenimiento de la paz, y con la puesta en práctica de una política exterior de neutralidad activa, no se escatimaron recursos para promover la expansión y modernización de las industrias de guerra, especialmente, las de construcción naval. Semejante paradoja no suponía, en absoluto, ninguna contradicción, pues, a juicio de Ensenada, España necesitaba disponer, a medio plazo, de una Armada considerable, no sólo para hacerse respetar de las grandes potencias, sino, sobre todo, para proteger el imperio colonial y el comercio ultramarino. Con este propósito, Ensenada dio un gran impulso a la construcción naval en los tres arsenales

2. *Ordenanza de 13 de octubre de 1749 para la restauración e instrucción de intendentes de provincias y ejércitos*, Madrid (1749), p. 1: «Cuarenta y ocho años de sangrientas y continuadas guerras que han sufrido mis Reinos y vasallos; la esterilidad y calamidades que han experimentado en tan largo tiempo, por la falta de cosechas, comercio y manufacturas; las repetidas quintas y levas, que han sido inexcusables para contener el orgullo y obstinación de sus enemigos, y conservar con mis Reales dominios el honor de la Corona, son las causas que han reducido a un deplorable estado su gobierno económico, la administración de la justicia, y la causa pública, porque todo se ha confundido con el ruidoso estrépito de las armas».
3. La obra de referencia sobre la política reformista de Ensenada sigue siendo la de Gómez Urdáñez, J. L.: *El proyecto reformista de Ensenada*, Lérida, 1996.
4. Ozanam, D.: «Representación del marqués de la Ensenada a Fernando VI (1751)», en *Cuadernos de Investigación Histórica*, 4 (1980), pp. 67-124.

departamentales de El Ferrol, Cartagena y La Carraca (Cádiz), así como en el astillero de Guarnizo (Santander), con el consiguiente incremento de la demanda de cañones y municiones de artillería para armar los navíos, así como de jarcias y lonas para el velamen de los mismos. Sin embargo, el marqués de la Ensenada era consciente de que no bastaba con promover un crecimiento industrial meramente extensivo, pues también había que incorporar mejoras cualitativas de tipo técnico. Lo cierto es que la tecnología de las industrias militares españolas se había quedado obsoleta con respecto a las de sus competidores europeos, puesto que las mismas urgencias de la guerra habían impedido su modernización. De hecho, las guerras en las que España se había visto implicada durante la primera mitad del siglo XVIII, se hicieron con barcos y cañones cuyos procedimientos de fabricación no diferían sustancialmente de los que se habían empleado en el siglo anterior. En la construcción naval, fue la época de predominio de los que Jorge Juan calificó despectivamente como «meros carpinteros de ribera», mientras que en la industria artillera, las técnicas de fundición se caracterizaban todavía por el empirismo más rudimentario.

La política de transferencias de tecnología en la época de Jorge Juan (1748-1773)

La conciencia de que el atraso técnico era uno de los obstáculos principales para la recuperación y el crecimiento de la industria española, constituyó el punto de partida de una agresiva política de transferencias de tecnología, que se insertaba perfectamente en el proyecto reformista de Ensenada. Se trataría de superar dicho obstáculo, favoreciendo la introducción y asimilación de las nuevas técnicas europeas en la industria española. Hay que advertir, no obstante, que las industrias militares fueron las principales beneficiarias de esa política, pues eran también las mayores demandantes de nueva tecnología, y el Secretario de Guerra impuso sus prioridades. Ello trajo consigo una cierta «militarización» de la técnica, parafraseando la clásica caracterización de Lafuente y Peset[5]. Por otra parte, también Carvajal, principal competidor de Ensenada en el gobierno de Fernando VI, promovió las transferencias de tecnología, desde su propio proyecto reformista[6]. Asimismo, durante el reinado de Carlos III se mantuvo esa misma política, con ciertas matizaciones.

5. Lafuente, A. y Peset, J. L.: «Militarización de las actividades científicas en la España ilustrada (1726-1754)», en Peset J. L. (ed.), *La ciencia moderna y el Nuevo Mundo*, Madrid, 1985, pp. 127-147.
6. Sobre el reformismo de Carvajal, véase Delgado Barrado, J. M.: *El proyecto político de Carvajal. Pensamiento y reforma en tiempos de Fernando VI*, Madrid, 2001.

En definitiva, la política de transferencias de tecnología que emprendió el marqués de la Ensenada en 1748, acabó incorporándose al núcleo duro del Reformismo Ilustrado y se mantuvo vigente casi hasta finales de siglo. Dicha política comprendía tres estrategias complementarias: la importación de maquinaria, la contratación de técnicos extranjeros y el espionaje industrial.

La importación de maquinaria, es probablemente hoy en día, el procedimiento más recurrente para adquirir nueva tecnología. No era así, sin embargo, en el siglo XVIII, porque en una época en la que predominaba abrumadoramente el aprendizaje por el uso, el manejo de nueva maquinaria requería una serie de conocimientos y habilidades previos, sin los cuales se corría el riesgo de que tuviese que transcurrir bastante tiempo antes de resultar realmente operativa. Por esta poderosa razón, no es de extrañar que en esa época fuese relativamente infrecuente, salvo en el caso de que la maquinaria viniese acompañada de mano de obra especializada, para adiestrar en su funcionamiento a los trabajadores autóctonos. En España se conocen algunos casos singulares, como el de los molinos a la piamontesa y el torno de hilar de Vaucanson en la industria de la seda. Pero el ejemplo más ilustrativo, por lo que revela acerca de la verdadera capacidad de asimilación de una nueva tecnología por parte de la economía española, fue el de la introducción de la máquina de vapor. Muy tempranamente, a comienzos de la década de 1720, una empresa británica intento instalar una máquina de tipo Newcomen en el mismo lugar donde había estado emplazado el legendario «artificio de Juanelo», para abastecer de agua del Tajo a la ciudad de Toledo. Fracasado este intento, más por motivos financieros que puramente tecnológicos, hubo que esperar hasta mediados del siglo para que Jorge Juan, en el curso de su misión de espionaje industrial por Inglaterra, remitiese a España junto con otros muchos instrumentos científicos, la maqueta de una máquina de Newcomen, que fue a parar al Gabinete de Física de la Escuela de Guardiamarinas de Cádiz. Y aún tendrían que pasar más de veinte años para que esa casi olvidada maqueta sirviera de base a Jorge Juan, como veremos más adelante, para la implantación efectiva de este tipo de máquinas en España y la plena asimilación de su tecnología. Pero a diferencia de otros países europeos, esta máquina no se implantó en la minería, sino en un sector atípico y relativamente marginal: la extracción de agua en los diques de carenar de los arsenales. Más adelante, entre 1787 y 1807, según Tann y Breckin[7], España acabaría convirtiéndose en el principal país importador

7. Tann, J. y Brecking, M.: «The International Difussion of the Watt Engine, 1775-1825» en *The Economic History Review*, XXXI (1978), pp. 541-564.

de las máquinas de vapor más modernas: las de Watt de efecto simple con condensador independiente y las de doble efecto. Pero esa es otra historia, que desborda los límites cronológicos de este trabajo.

La contratación de técnicos extranjeros, ha sido la forma más antigua de transferencia de tecnología, con antecedentes muy remotos en la historia de España. Durante el reinado de Fernando VI, sus dos ministros principales, Ensenada y Carvajal, desplegaron una gran actividad en este ámbito, si bien cada uno por separado. Ensenada, a través de Jorge Juan, hizo venir a España a más de cincuenta técnicos británicos en la construcción naval y en la fabricación de lona y jarcia. A través de Antonio de Ulloa, contrató a algunos maestros de jarcia y, sobre todo, a dos figuras singulares de gran relieve: el ingeniero hidráulico francés Carlos Lemaur, y el naturalista irlandés Guillermo Bowles. Por medio de diversos agentes, también consiguió reclutar a varias decenas de tejedores flamencos, holandeses y franceses, para las Reales Fábricas de paños de Guadalajara. Por último, hay que mencionar que a través del ya citado Bowles, se logró contratar a varios mineros alemanes, para las minas de mercurio de Almadén.

La presencia de técnicos extranjeros fue especialmente importante en aquellos sectores en los que se requería una elevada cualificación de la mano de obra, como era el caso de las Reales Fábricas de carácter suntuario. En este ámbito concentró sus iniciativas el Secretario de Estado José de Carvajal. Para la Real Fábrica de vidrios de San Ildefonso, trajo a más de cincuenta técnicos franceses y centroeuropeos. La llegada de grupos de expertos de una misma nacionalidad, dejó su impronta en la propia organización productiva de la fábrica, puesto que se constituyeron sendos talleres denominados «de franceses» y «de alemanes», por la ascendencia de la mayoría de sus trabajadores. Asimismo, para la Real Fábrica de paños finos de San Fernando, hizo venir más de 80 tejedores irlandeses y holandeses. Finalmente, para la Real Fábrica de tejidos de seda de Talavera de la Reina, contrató a un técnico de alto nivel, Jean Ruliere, como director, así como a varios tejedores de Lyon.

Tras el fallecimiento de Carvajal y la caída en desgracia de Ensenada parece que se produjo una súbita interrupción en la contratación de técnicos extranjeros, que se habría mantenido hasta el final del reinado de Fernando VI. Pero con el advenimiento de Carlos III cambió la tendencia desde la misma llegada del nuevo Rey, pues en la flota que le trajo a España en 1759, venía una fábrica entera: la plantilla de trabajadores, las máquinas y herramientas, e incluso una abundante provisión de materias primas, procedentes de la manufactura napolitana de Capodimonte. De este modo se introdujo en España el secreto de la elaboración de la porcelana –que había formado

parte de la dote matrimonial de la reina María Amalia de Sajonia–, y sirvió de base par la fundación de la Real Fábrica de porcelana del Buen Retiro. Pero, dejando aparte este caso excepcional –que constituye un verdadero transplante industrial–, en los primeros años del reinado de Carlos III, fue más frecuente que se contratase individualmente a un experto extranjero de alto nivel, para introducir un nuevo procedimiento técnico, o para establecer una fábrica de nueva planta. Entre los casos más conocidos, cabría mencionar el del franco-suizo Jean Maritz, a quien contrato el Secretario de Estado marqués de Grimaldi en 1765, para introducir en las fábricas de artillería españolas el nuevo procedimiento de fundición en sólido[8]. Un caso similar es el de François Gautier[9], un ingeniero francés del Arsenal de Tolón, que vino a España en 1765 para trabajar en el astillero de Guarnizo, y que cuatro años después fue nombrado Director General de Construcción Naval. Desde este puesto introdujo en los arsenales españoles el llamado «sistema francés», en sustitución del que había implantado Jorge Juan y los constructores ingleses a comienzos de la década anterior.

Los primeros espías industriales: Marinos y artilleros. El espionaje industrial es el instrumento de transferencia tecnológica del que, a priori, cabría esperar efectos más inmediatos, aunque su eficacia para difundir y asimilar solidamente la nueva tecnología a medio y largo plazo, haya sido históricamente mucho más dudosa y aleatoria. En el caso español, se pueden detectar actividades más o menos asimilables al espionaje industrial, al menos desde el siglo XVI. Pero no se puede hablar con fundamento de verdaderas misiones de espionaje industrial, perfectamente organizadas y planificadas, hasta mediados del siglo XVIII, de forma que, según C. Taracha[10], podría considerarse al marqués de la Ensenada como su primer organizador, y al propio Jorge Juan como el primer espía industrial moderno de nuestro país.

Ya en la primera mitad del siglo empezaron a descubrirse los inconvenientes de una política de transferencias de tecnología basada casi exclusivamente en la inmigración de técnicos y artesanos extranjeros. Además de la generalizada resistencia de dichos técnicos a revelar sus procedimientos y

8. Helguera Quijada, J.: «La invención del procedimiento de fundición de artillería en sólido y su recepción en España a mediados del siglo XVIII», en *Actas del I Congreso Internacional de Historia Militar*, Zaragoza (1986), tomo 1º, pp. 327-345.
9. Hay un estudio reciente sobre este polémico personaje,: Sánchez Carrión, J. M.: *De constructores a ingenieros de Marina: Salto tecnológico y profesional impulsado por Francisco Gautier*, Madrid, 2013.
10. Sobre los aspectos organizativos, técnicos y logísticos del espionaje en la época de Ensenada, son fundamentales los dos trabajos del historiador polaco C. Taracha que se citan en la bibliografía.

habilidades, que trataban de mantener en secreto como su patrimonio personal más valioso, pronto se pudo constatar el fracaso del principal objetivo que había perseguido esa política: no se consiguió aclimatar de forma duradera la nueva tecnología importada porque los técnicos inmigrados no fueron capaces, salvo excepciones, de transmitir sus conocimientos y habilidades a los jóvenes aprendices españoles. Ello trajo consigo una consecuencia aún más grave: que precisamente porque no fue posible «nacionalizar» la tecnología importada, tampoco se consiguió generar en España una dinámica autóctona de desarrollo tecnológico, pues cuando los técnicos inmigrados retornaban a su país de origen, o bien fallecían o se jubilaban, se perdían irremisiblemente los conocimientos que no habían transmitido. Incluso en los raros casos en que no ocurrió así, tales conocimientos se fueron quedando obsoletos ante los nuevos avances de la industria europea. No es de extrañar, por tanto, que aunque los gobiernos españoles no llegaran a renunciar a la costosa política de contratación de técnicos extranjeros, se intentase complementarla con el envío de jóvenes artesanos o ingenieros españoles al extranjero, para ampliar su formación profesional en los más importantes centros industriales; y sobre todo, con la organización de verdaderas misiones de espionaje industrial, con objetivos más o menos específicos. En realidad, estas formas de actuación fueron en el siglo XVIII estrategias competitivas claramente complementarias, al servicio de una misma política de transferencias tecnológicas, hasta el punto de que cada una de ellas era la prolongación natural de las otras dos, de forma que no pueden estudiarse separadamente.

Como ya mencionamos al principio de este trabajo, una carta de Ensenada al duque de Huéscar, fechada el 19 de julio de 1748 es el testimonio documental más antiguo del plan que había concebido el ministro de enviar a Jorge Juan y a Antonio de Ulloa a recorrer las capitales europeas, «con particularidad a Londres, (...) para que con la teórica y experiencia de Marina que tienen, se instruyan más y contribuyan a su vuelta, (...) a que abramos los ojos, pues (...) los tenemos cerrados en todo lo que es mecánica, y ésta facilita las cosas grandes en los reinos»[11]. Este propósito lo desarrolló Ensenada de forma muy detallada algunos meses después, en las instrucciones reservadas que entregó a Jorge Juan y a Antonio de Ulloa[12]. Están fechadas en octubre de 1748 y junio de 1749, respectivamente, y tienen una estructura

11. Ozanam, D. y Téllez Alarcia, D. (eds.): *Misión en París. Correspondencia particular entre el marqués de la Ensenada y el duque de Huéscar (1746-1749*, Logroño, 2010, pp. 468-469.
12. Los textos completos de ambas instrucciones se pueden encontrar en Lafuente, A. y Peset, J. L.: «Política científica y espionaje industrial en los viajes de Jorge Juan y Antonio de Ulloa (1748-1751)», en *Mélanges de la Casa de Velázquez*, XVII (1981), pp. 249-260.

muy similar, aunque la segunda es bastante más extensa. En ambas se pueden distinguir dos partes bien diferenciadas. La primera, estaba dedicada a trazar el itinerario del viaje y a fijar sus principales objetivos, mientras que en la segunda se daban a los viajeros una serie de normas concretas de actuación, con objeto de mantener en secreto los verdaderos propósitos de su misión. Los objetivos comunes de ambas misiones, eran principalmente tres: obtener información sobre las industrias de construcción naval; averiguar la política oficial y oficiosa que seguían los diversos países con respecto al comercio con el imperio colonial español; y finalmente, enterarse de las medidas de política económica que se aplicaban en los diversos países, para promover el desarrollo de sus manufacturas, especialmente, de aquellas que competían directamente con las españolas en el mercado interior y en el colonial.

El primero en partir fue Jorge Juan[13], quien tras pasar por Cádiz, para recoger a dos jóvenes guardiamarinas, José Solano y Pedro de Mora, que iban a ser sus compañeros de viaje, se embarcó hacia Londres, a donde llegó a comienzos de marzo de 1749. El objetivo principal de la misión de Jorge Juan era recoger información sobre los sistemas británicos de construcción naval y reclutar a un numeroso grupo de ingenieros y técnicos de la misma nacionalidad, para que introdujesen esos procedimientos en los arsenales españoles. A ello se dedicó de inmediato, con extraordinaria energía y habilidad, de forma que en apenas 15 meses de estancia en Londres, consiguió hacer llegar a España, vía Oporto y Calais para encubrir su destino final, a más de 50 técnicos navales británicos –incluyendo los tres constructores principales: W. Rooth, E. Bryant y M. Mullan–, acompañados en muchos casos de sus respectivas familias. Además, Jorge Juan remitió a Ensenada amplia información exhaustiva sobre los efectivos de la Royal Navy y sobre la estrategia británica en América, así como acerca de otras muchas y muy diversas cuestiones técnicas[14], y adquirió importantes remesas de libros e instrumentos científicos, con destino al Observatorio de Marina de Cádiz y al Colegio Imperial de Madrid. Unos resultados tan extraordinarios sólo los pudo obtener Jorge Juan arriesgando al máximo,

13. Sobre el viaje de Jorge Juan, además del artículo mencionado en la nota 11, véanse los de Morales Hernández (1973), Gómez Urdáñez (2006) y Sánchez Carrión (2011), citados en la bibliografía.
14. Entre las múltiples informaciones no relacionadas directamente con la Marina que remitió Jorge Juan, queremos destacar una, a la que no se ha prestado atención a pesar de su importancia científica y técnica. Se trata de las primeras noticias sobre las experiencias balísticas de Robins, que parecían demostrar la falta de proporcionalidad directa entre la carga de pólvora y el alcance de los cañones. Para verificarlo, Ensenada mandó hacer unas pruebas de artillería, cuyos resultados no fueron concluyentes.

utilizando como cobertura varias personalidades supuestas, y buscando todo tipo de complicidades autóctonas, desde las meramente mercenarias hasta la afinidad de creencias religiosas con algunos católicos. En última instancia, como es sabido, tuvo que huir precipitadamente del país, cuando las autoridades británicas ya habían ordenado su detención, y en junio de 1750 ya había conseguido regresar a Madrid, donde se dispuso a explotar a fondo toda la información técnica que había adquirido, contando con el respaldo incondicional de Ensenada.

El periplo europeo de Antonio de Ulloa[15], en compañía de su hermano Fernando y de los guardiamarinas Salvador de Medina y José de Azcarrati, fue más disperso y prolongado. La primera parte transcurrió por el sur de Francia durante el otoño de 1749, visitando el Arsenal de Tolón, recorriendo el Canal del Languedoc, y recogiendo información técnica sobre las industrias pañeras de Carcasona. A continuación se dirigieron hacia el norte, pasando por Lyon, donde recogieron información sobre la industria de la seda y por Ginebra, donde trabaron contacto con el relojero Jacques-François Deluc, para negociar su venida a España. A comienzos de 1750 llegaron a París, donde permanecieron más de un año. Durante tan prolongada estancia, Antonio de Ulloa se dedicó a múltiples y muy diversas actividades, mientras sus acompañantes aparentaban estar centrados en el estudio de las matemáticas bajo su supervisión. Así, por encargo de Ensenada, hizo gestiones para contratar a algunos técnicos de alto nivel, que tuvieron éxito en el caso de los ya citados Lemaur y Bowles, pero fracasaron en el del célebre grabador de mapas D'Heuland. También se interesó por las fundiciones de artillería, por las obras públicas, y hasta por la organización de los servicios de limpieza urbana en París. Durante el verano de 1750 tuvo ocasión incluso de viajar por las costas de Bretaña y Normandía, visitando los arsenales de Brest y Rochefort, sobre los que redacto minuciosos informes[16].

A finales de la primavera de 1751 Ulloa y sus acompañantes prosiguieron su viaje, según el itinerario previsto, por Bélgica y Holanda, a pesar de que Ensenada les presionó para que lo abreviaran al máximo. Allí pudo visitar la fundición de artillería de La Haya, y con la ayuda del embajador, Marqués del Puerto, consiguió reclutar a seis maestros de jarcia y lona para los arsenales españoles. Finalmente, en agosto de 1751 emprendieron la

15. Sobre el viaje de Ulloa, véanse los trabajos de Merino Navarro (1984) y Helguera Quijada (1995), citados en la bibliografía final.
16. Dichos informes le sirvieron a Ulloa, muchos años después, para escribir un extenso tratado sobre la Marina, que ha permanecido inédito durante más de dos siglos: Ulloa, A. DE: *La Marina. Fuerzas navales de la Europa y costas de Berbería*. Edición y estudio preliminar de J. Helguera, Cádiz, 1995.

última etapa de su recorrido, que les llevó por los países escandinavos y el norte de Alemania, y que lejos de ser una misión secreta, casi se convirtió en un viaje oficial, pues fueron recibidos por las principales autoridades. En Dinamarca visitaron el Arsenal de Copenhague, acompañados del almirante jefe de la flota danesa. En Suecia fueron recibidos por los propios reyes y pudieron visitar el célebre Arsenal de Karlskrona, donde Ulloa trazó los planos de un gran dique de carenar en forma de esclusa, que después serviría de inspiración para los diques de Arsenal de Cartagena. De allí fueron a Berlín con cartas de presentación de la Reina de Suecia, que era hermana de Federico II de Prusia, y fueron muy bien acogidos en Potsdam por éste, quien invitó a Ulloa a comer en privado en el palacio de Sans-Souci, acompañados por el célebre matemático Maupertuis. El 20 de noviembre de 1751 Ulloa y sus acompañantes emprendieron el viaje de regreso a España. Tras una breve estancia en París, donde Ulloa excusó el cumplimiento de una nueva e imprevista orden de Ensenada que le instaba a visitar algunas minas centroeuropeas, reemprendieron el camino de Madrid, a donde debieron llegar a comienzos de 1752.

Los resultados obtenidos por Ulloa y, sobre todo, por Jorge Juan, animaron al Marqués de la Ensenada a ampliar las misiones de espionaje hacia la modernización del otro gran sector de la industria militar: las fundiciones de artillería, que habían experimentado una verdadera revolución técnica con el descubrimiento del nuevo método de fundición en sólido. Como el propio Ulloa había mostrado un cierto interés por esos temas, informando a Ensenada de sus visitas a las fundiciones de artillería de París y de La Haya, el ministro le instó a incorporarlos a los objetivos de su misión. Pero Ulloa no se consideró competente para asumirlo, y planteó a Ensenada la posibilidad de organizar una nueva misión de espionaje, centrada especialmente en esas cuestiones. Para desempeñarla proponía al teniente Enrique Enriqui, al que había conocido en la fundición de artillería de Barcelona. Ensenada aprobó la propuesta y encargó a Ulloa que redactase la instrucción correspondiente.

Enriqui llegó a París en marzo de 1750 y Ulloa le entregó la instrucción en la que se asignaba a su misión un objetivo algo impreciso: recoger información sobre las nuevas técnicas minero-metalúrgicas que fueran de interés para las fundiciones de artillería. El itinerario previsto era muy amplio, desde Francia hasta Hungría y el norte de Italia, pasando por Escandinavia, y la duración, de unos treinta meses. Pero la realidad de esta misión fallida distó mucho de las previsiones, debido a la propia incompetencia de su

protagonista[17]. Enriqui apenas llegó a completar la primera etapa del itinerario –desde Alsacia hasta Holanda–, pues tras visitar algunas fundiciones, llegó a la sorprendente conclusión de que los cañones españoles eran de mejor calidad que todos los que había visto en el extranjero y, como no creía que pudiese encontrar nada nuevo que aprender al respecto, pidió a Ensenada que cancelase el resto de su viaje. El ministro accedió, pero aún le dio otra oportunidad, enviándole a Londres, posiblemente con la expectativa de informarse sobre una prueba general de la artillería británica, en la que se iba a experimentar con una nueva aleación de metales. Pero Enriqui acabó de desacreditarse en Inglaterra, pues al cabo de apenas tres meses sin haber obtenido ninguna información de interés se le ordenó regresar a España, y ya no volvió a encomendársele ningún nuevo encargo de tipo técnico.

A finales de 1750, cuando ya era evidente que la misión de Enriqui había fracasado, se empezaron a preparar en la Secretaría de Guerra otros dos viajes de espionaje industrial con el mismo objetivo: la adquisición de nuevas técnicas mineras y metalúrgicas, en general, y su aplicación a las fundiciones de artillería, en particular. Todo parece indicar que su organizador fue el teniente general Juan del Rey, principal responsable del Cuerpo de Artillería en la Secretaría de Guerra, quien seleccionó a cuatro oficiales para viajar por parejas: Dámaso Latre y Agustín Hurtado, por el norte de Europa, y José Manes y Francisco de Estachería, por Europa central[18]. Se les reunió en Madrid y durante varios meses –de octubre de 1750 a enero de 1751–, se organizaron cuidadosamente y de forma coordinada, todos los detalles. Finalmente, se les hizo entrega de las respectivas instrucciones particulares, que incluían el itinerario del viaje, los objetivos concretos de cada etapa, y las claves cifradas para la correspondencia.

La primera etapa del viaje de Dámaso Latre y Agustín Hurtado era Inglaterra, y su objetivo principal, el mismo que había inducido a Ensenada a enviar allí a Enriqui: informarse sobre la nueva aleación de metales que se estaba experimentando en la fundición de artillería de Chelsea y que, en breve iba a ser sometida a una prueba general. Ambos oficiales llegaron a Londres en abril de 1751 y rápidamente entraron en contacto con los inventores de dicha aleación, con objeto de negociar la adquisición del secreto de su composición. Parece que llegaron a un principio de acuerdo, pero, entre

17. Sobre el viaje de Enriqui, véase Helguera Quijada, J., *op. cit.* en la nota 18, pp. 672-676.
18. Un panorama general de estos viajes, junto con las referencias documentales concretas, se puede encontrar en Helguera Quijada, J., «Las misiones de espionaje industrial en la época del Marqués de la Ensenada, y su contribución al conocimiento de las nuevas técnicas metalúrgicas y artilleras a mediados del siglo XVIII», en VV. AA., *Estudios sobre la Historia de la Ciencia y de la Técnica*, Valladolid, 1988, vol. II, pp. 671-695.

tanto, tuvo lugar la prueba mencionada, cuyos resultados, aunque no demasiado concluyentes, contribuyeron a incrementar desmesuradamente sus pretensiones económicas. Ahora exigían 15.000 £, cifra que a Ensenada le pareció inaceptable, por lo que ordenó a los espías españoles que adoptasen una táctica dilatoria, para intentar rebajarla. Pero eso alargó su estancia en Londres durante más de un año, y mientras tanto, además de atender algunos encargos puntuales de Ensenada, se dedicaron a recoger informaciones tecnológicas muy heterogéneas y de escaso interés. A mediados de 1752 se rompieron definitivamente las negociaciones y Ensenada les ordenó que prosiguieran el viaje, según el itinerario previsto. Pero Dámaso Latre, que ya había mostrado inclinación a relacionarse con todo tipo de proyectista y presuntos inventores en busca de mecenazgo, consiguió retrasar la partida un año más. La actitud renuente de Latre provocó serias disensiones entre los viajeros, hasta el punto de que en junio de 1753 Agustín Hurtado partió en solitario hacia Holanda, en cumplimiento de las órdenes de Ensenada. Latre le siguió a regañadientes unas semanas después, pero la confianza y buen entendimiento entre ambos viajeros ya se habían roto definitivamente.

La etapa holandesa también resultó un fiasco, pues pasaron todo el verano de 1753 intentando vanamente evaluar un instrumento óptico de nueva invención que un tal Benjamín Aires había ofrecido al embajador español en La Haya. Tampoco fue mejor el viaje por los países escandinavos, a pesar de los buenos oficios del embajador en Estocolmo, marqués de Puentefuerte, pues la cosecha de información tecnológica fue muy escasa. En vista de ello Agustín Hurtado escribió por su cuenta a Juan del Rey para que convenciese a Ensenada de dar por cancelada la misión. Pero la respuesta de Ensenada no la recibieron hasta su llegada a San Petersburgo en agosto de 1754 –cuando ya hacía un mes que había sido cesado en el gobierno–, y en ella se les mandaba ir a Sajonia, antes de volver a España, para encontrarse con los otros dos espías artilleros, que estaban estudiando en la Escuela de Minería de Freiberg. Una vez allí, Latre y Hurtado se separaron definitivamente. Mientras que el primero regresó a España de inmediato para desempeñar un empleo burocrático en la Secretaría de Guerra, Hurtado intentó vanamente quedarse estudiando en Freiberg, hasta que a fines de 1754 recibió también la orden de volver a España. En todo caso, ninguno de los dos volvió a ocuparse de cuestiones técnicas en el resto de su trayectoria profesional.

La misión de los otros dos artilleros espías, José Manes y Francisco Estachería, presenta un perfil muy diferente. Ante todo, por su excepcional duración: más de nueve años, lo que la convierte en la más larga, de todas las que se organizaron en la época de Ensenada, y en la única que sobrevivió a la caída de éste. Ello se debió, en buena medida a las sucesivas mutaciones

que fue experimentando la condición de sus protagonistas a lo largo del tiempo: de espías a estudiantes pensionados, para concluir como observadores neutrales en la Guerra de los Siete Años. Por último, hay que hacer notar que fueron los únicos espías que tuvieron la oportunidad de llevar a la práctica –en las fundiciones de La Cavada– los conocimientos técnicos que habían adquirido durante su misión, aunque con unos resultados bastante decepcionantes.

La primera etapa de su viaje transcurrió en Francia. Llegaron a París en marzo de 1751 y allí permanecieron más de medio año, haciendo un informe exhaustivo sobre los procedimientos técnicos de la fundición de artillería del arsenal –que ya había visitado Ulloa–, incluyendo planos y maquetas a escala de las máquinas principales y una extensa memoria explicativa de su funcionamiento. Además, recopilaron información sobre los métodos empleados en Francia para refundir el hierro de desecho, a la que adjuntaron un ejemplar del tratado de Reaumur sobre la transformación del hierro en acero[19]. A continuación fueron a Estrasburgo, donde visitaron la fundición de artillería más moderna de Francia, pues apenas hacía diez años que Jean Maritz la había renovado por completo para implantar el nuevo método de fundición en sólido. En este caso, también sacaron planos y maquetas de las principales instalaciones y, sobre todo, elaboraron el primer estudio comparativo, hecho por técnicos españoles, sobre los dos métodos de fundición de cañones, en hueco y en sólido[20], pronunciándose claramente a favor de este último.

Posteriormente, se dirigieron hacia el norte de Italia, pasando por los cantones suizos, donde visitaron la fundición de artillería de Berna y se entrevistaron con su director, Samuel Maritz, hijo mayor del inventor del procedimiento de fundición en sólido, y hermano de Jean, quien lo había implantado en Francia. Llegaron a Turín en abril de 1752, donde recogieron alguna información sobre los métodos de elaboración del acero en aquella zona y, sobre todo, tuvieron noticia sobre los estudios de minería y metalurgia que se impartían en la *Bergakademie* de Freiberg (Sajonia). Les parecieron tan interesantes, que pidieron a Ensenada que les permitiera cursarlos, argumentando que no sólo servirían para completar su misión, sino que además las enseñanzas recibidas podrían ser susceptibles de aplicación en la minería

19. Ensenada pasó la obra de Reaumur a Ulloa y a Jorge Juan, para que informasen sobre sus posibles aplicaciones en España, pero estos, aunque reconocieron su valor científico, opinaron que no serviría para resolver el problema de la reutilización del hierro de desecho.
20. Sin fecha ni firma: «Observaciones sobre la preferencia de fundir en macizo a la de con el molde para el ánima de la pieza, y tocante al arte de fundir». (A)rchivo (G)eneral de (S)imancas, *Guerra Moderna*, legajo 963.

española y americana. Tales razones convencieron a Ensenada, quien aprobó su propuesta, aunque recordándoles que tras su estancia en Freiberg deberían visitar algunas de las principales minas centroeuropeas, tal y como estaba previsto en la instrucción de su viaje.

Manes y Estachería llegaron a Freiberg en agosto de 1753, pasando por Viena y Dresde. Allí permanecieron dos años cursando los estudios oficiales en la *Bergakademie*, y no se vieron afectados por la caída de Ensenada, pues el nuevo Secretario de Guerra, Sebastián de Eslava, les autorizó a proseguirlos hasta su conclusión. Una vez finalizados, este mismo ministro accedió a que continuaran con su antigua misión, visitando los principales centros minero-metalúrgicos de Alemania y Suecia. En noviembre de 1755 ya se encontraban en Goslar, después de haber pasado por Clausthal, donde se entrevistaron con las esposas de dos técnicos alemanes que, reclutados por Bowles, estaban trabajando en Almadén.

En octubre de 1756 anunciaron a Eslava su llegada a Estocolmo y permanecieron en Suecia casi medio año, visitando las minas y establecimientos más importantes sin ninguna dificultad, gracias a las gestiones del embajador español. Pero en el curso de su recorrido se enteraron de que la minero-metalurgia británica estaba mucho más avanzada que la del Continente, y que en las fundiciones de ese país se estaba empezando a utilizar el carbón mineral como combustible. Con estos argumentos, volvieron a pedir a Eslava una nueva ampliación de su viaje y marcharon a Holanda, a la espera de su respuesta. Como fue positiva, marcharon a Inglaterra en julio de 1757 y allí permanecieron más de nueve meses. Pero cuando su estancia en Inglaterra estaba a punto de concluir, ni siquiera entonces se plantearon volver a España, pues consiguieron que el embajador de España en París, Jaime Masones, que acababa de ser nombrado también Director General de Artillería, gestionase su incorporación como observadores neutrales a los ejércitos contendientes en la Guerra de los Siete Años, «para instruirse con el uso práctico de los cañones». Así hicieron la campaña de 1758 y tenían intención de proseguir el año siguiente, pero Masones, que se había convertido ya en su protector, estimó que no debían correr riesgos innecesarios, y les mandó que volviesen a París para ampliar estudios en la Academia de Artillería bajo su supervisión.

La segunda estancia de Manes y Estachería en París duró más de un año. A comienzos de 1760, Masones consideró que habiendo completado éstos su formación, ya había llegado el momento de que poner fin a su larga permanencia en el extranjero. Así se lo planteó al nuevo Secretario de Guerra, Ricardo Wall, y en el mes de marzo se expidió la orden formal para que regresasen a España. Pero su marcha se demoró todavía hasta el mes de junio, porque Manes se encontraba en Lieja, visitando una fundición de artillería.

El viaje de regreso fue también de larga duración, pues Manes y Estachería lo aprovecharon para visitar las fundiciones de la Marina francesa y, ya en España, algunas ferrerías de Vizcaya y las fábricas de artillería de hierro de La Cavada y Liérganes, de forma que no llegaron a Madrid hasta agosto de 1760, es decir, casi diez años después de su partida.

El balance de estos primeros viajes de espionaje industrial es muy desigual, lo que se debió, sobre todo, a la muy diferente capacidad de quienes los llevaron a cabo. El viaje de Jorge Juan fue modélico, y sin duda el más provechoso en cuanto a los resultados obtenidos. En muy poco tiempo –poco más de un año– consiguió los recursos humanos y técnicos necesarios para emprender la modernización de la industria naval militar. En cambio, el balance del viaje de Ulloa es más ambivalente. Es cierto que aportó un gran volumen de información, básicamente de carácter descriptivo, sobre la Marina de varios países; y que, ocasionalmente, también suministró algunos datos valiosos sobre cuestiones concretas de técnica industrial. Pero todo ello, en conjunto, da una impresión de excesiva heterogeneidad. En cuanto al viaje de Enriqui, no hay nada que añadir. Fue un error de principio a fin, empezando por la pésima elección del personaje, lo que hay que atribuir a la responsabilidad de Ulloa.

Los dos viajes de los cuatro oficiales de Artillería presentan un perfil muy diferente. En principio, estaban bien planteados y tenían objetivos claramente definidos, por eso llama más la atención la desigualdad de los resultados. La misión de Latre y Hurtado está claro que fracasó, en la medida en que no consiguieron obtener información sobre la nueva aleación de metales, que era su objetivo principal. A partir de entonces, perdieron el rumbo y el tiempo, dedicándose a recoger y remitir información de muy escaso interés. Muy distinto es el caso de Manes y Estachería. En su haber figuran dos logros principales: haber remitido a España la primera información rigurosa y contrastada sobre el procedimiento de fundición de artillería en sólido; y haber sido los primeros pensionados españoles que cursaron estudios reglados en la *Bergakademie* de Freiberg. En el debe, sin embargo, hay que anotar que desde 1755 los rendimientos del viaje fueron claramente decrecientes. A pesar de ello, consiguieron, con todo tipo de pretextos, retrasar su regreso a España cinco años más.

Los viajes de espionaje industrial no tuvieron continuidad en los años siguientes. La desgracia política de Ensenada, y el desmantelamiento del Real Giro, que había servido para financiar estas costosas misiones en el exterior, son dos de los factores que permiten explicar esa interrupción. Tuvo que pasar casi un cuarto de siglo, hasta la última década del reinado de Carlos

III[21], para que volvieran a organizarse otras misiones de espionaje industrial, de importancia comparable a las de la época de Ensenada.

Jorge Juan y la máquina de vapor de tipo Newcomen: un caso muy particular de transferencia tecnológica

En el largo y complicado proceso de introducción de la máquina de vapor en España[22], Jorge Juan tuvo una intervención importante, aunque paradójica: se produjo, en cierto modo, en contra de su voluntad; y fue muy discontínua, pues sus dos actuaciones concretas –en 1749 y a partir de 1770– estuvieron separadas por un paréntesis de más de veinte años. Además, se centraron exclusivamente en la máquina de tipo Newcomen, que si no podía considerarse precisamente una novedad tecnológica en la primera de las fechas citadas, estaba ya completamente obsoleta en la segunda.

Todo empezó en julio de 1749. Por aquel entonces, como ya sabemos, Jorge Juan se encontraba en Londres, intensamente dedicado a la misión que le había encomendado el marqués de la Ensenada. En una de sus cartas a éste, le instaba a promover en España la prospección de minas de carbón, y si llegaran a encontrarse –cosa que no dudaba–, creía que podría ser «muy util la máquina con que se saca agua con fuego, pues además de levantar ésta a muy buena altura, da bastante para regar porción de tierra»[23]. Por otra parte, estimaba que el consumo de combustible –leña o carbón– de esta máquina no sería muy elevado en relación con su capacidad de extracción de agua, superior a «la que dan dos bombas muy crecidas y mayores que las de nuestros navíos»[24]. Concluía Jorge Juan su carta rogándole al ministro que en el caso de que le pareciese interesante la información sobre dicha máquina, se lo comunicase con bastante antelación, por si debía o no «sacar dibujos y modelos de la misma, que es muy enredosa»[25]. Efectivamente, la máquina interesó mucho a Ensenada, pues creyó entender que servía «para beneficiar

21. La reanudación de los viajes de espionaje industrial no se produjo hasta después de 1777, tras la firma de un acuerdo secreto entre la Secretaría de Marina y la Real Sociedad Vascongada, A raíz de ello, se organizaron dos misiones de carácter minero-metalúrgico, que fueron llevadas a cabo por Juan José de Elhuyar e Ignacio de Montalvo entre 1778 y 1782.
22. Sobre la introducción de la máquina de vapor en España, véase Helguera Quijada, J. y Torrejón Chaves, J.: «La introducción de la máquina de vapor», en Ayala-Carcedo, F.J. (dir.), *Historia de la Tecnología en España*, Barcelona, 2001, T. I, pp.241-252.
23. Londres, 7 de julio de 1749. De Jorge Juan a Ensenada. AGS, *Secretaría de Marina*, legajo 316.
24. *Ibid.*
25. *Ibid.*

las minas de carbón de tierra», de forma que, a vuelta de correo[26], mandó a Jorge Juan que le remitiese un dibujo de la misma, así como una descripción de su composición y uso. También Jorge Juan se apresuró a contestar al ministro, pero no tanto para ampliar la información sobre la máquina, como para deshacer posibles equívocos. Advertía a Ensenada que estaría equivocado si había creido entender que la máquina de vapor servía para beneficiar las minas de carbón. Por el contrario, explicaba Jorge Juan, «el carbón sirve para hacerla obrar, y ella no hace más que sacar agua, ya sea de ríos o de profundidades, con suficiente abundancia para algunos riegos»[27]. Por eso, habida cuenta de la gran escasez de agua que padecían muchas comarcas españolas, se la había propuesto al ministro; y como dicha máquina necesitaba leña o carbón como combustible para su funcionamiento, tambien le había sugerido que mandase buscar minas de carbón en aquellas zonas donde hubiera escasez de agua, «pues aquel diera ésta con la máquina». Una vez aclarada la cuestión, Jorge Juan volvía a insistir en la escasa utilidad de un dibujo o descripción para entender el funcionamiento de la máquina, por ser «sumamente compuesta» y por eso consideraba preferible hacer un modelo o maqueta de la misma. Ensenada terminó accediendo a la propuesta de Jorge Juan[28], ordenándole que encargase la elaboración de una maqueta de máquina de vapor y que la remitiese a Cádiz en cuanto estuviese lista. En octubre de 1749 Jorge Juan acusó recibo de esta orden e informó al ministro de que ya la había encargado[29], y que su construcción requeriría dos meses, como mínimo.

A comienzos de 1750 Jorge Juan envió por fin a Cádiz la maqueta operativa de una máquina de vapor de tipo Newcomen. Pero su llegada a España no tuvo consecuencias prácticas ni a corto ni a medio plazo, pues su destino aparentemente definitivo fue el laboratorio de física de la Academia de Guardias Marinas. Se puede acreditar su presencia en él a través de los diversos inventarios que se hicieron durante los veinte años siguientes[30]; y a lo largo de todo ese período, las sucesivas promociones de oficiales que pa-

26. AGS, *Secretaría de Marina*, legajo 316. De Ensenada a Jorge Juan. Madrid, 28 de julio de 1749.
27. *Ibid.*, De Jorge Juan a Ensenada. Londres, 25 de agosto de 1749.
28. *Ibid.*, De Ensenada a Jorge Juan. Madrid, 8 de septiembre de 1749.
29. *Ibid.*, De Jorge Juan a Ensenada. Londres, 2 de octubre de 1749.
30. Por ejemplo, en el «Inventario de los Instrumentos que al presente existen en la Real Academia de Guardia Marinas y Observatorio del Castillo», que fue elaborado por José Díaz Infante, teniente de navío y profesor de Artillería de la misma en 1763, figura con el número 50 la siguiente anotación: «Un modelo grande con la máquina de sacar agua con fuego, completo de todas las piezas para su uso, con su cubierta de holandilla». AGS, *Secretaría de Marina*, legajo 98.

saron por dicha academia vieron funcionar la maqueta como un instrumento científico más de los que se empleaban en la enseñanza de la Física. Pero a nadie se le ocurrió, ni siquiera al propio Jorge Juan, dar a la máquina ninguna otra aplicación.

Entre tanto, desde su regreso a España, a mediados de 1750, el propio Jorge Juan, como es bien sabido, asumió por encargo de Ensenada la titánica tarea de coordinar la modernización de las industrias de construcción naval en los tres grandes arsenales de la Marina, con ayuda de los técnicos que había reclutado en Inglaterra. Entre otras muchas innovaciones, introdujo una realmente fundamental: los diques de carenar en seco, que mejoraban y abarataban considerablemente los trabajos de mantenimiento y reparación de los navíos de guerra. Los dos primeros diques se construyeron en el Arsenal de Cartagena entre 1753 y 1757, y tras resolver algunos serios problemas de cimentación y drenaje, entraron en servicio en noviembre de 1759 –el pequeño– y en agosto de 1760 –el grande–, respectivamente[31]. Ello supuso una verdadera proeza técnica de relevancia internacional, pues en contra de la opinión de la mayoría de los ingenieros de la época, incluido el prestigioso Belidor, permitió demostrar en la práctica que ese tipo de instalaciones podían funcionar en el Mediterráneo, a pesar de la escasa entidad de sus mareas.

Sin embargo, los diques de carenar, a pesar de sus evidentes ventajas, tenían también un serio inconveniente: la necesidad de llenarlos y vaciarlos –puesto que en la práctica se comportaban como esclusas– y, sobre todo, la de mantenerlos en seco mientras se efectuaban los trabajos de carenado. Para extraer el agua hubo que recurrir al empleo de bombas manuales de cadena, accionadas por esclavos moros y forzados. Según Torrejón Chaves[32], en la poza de los diques del Arsenal de Cartagena, funcionaban 46 bombas de cadena, cada una de las cuales era accionada por dos grupos de ocho hombres que se relevaban cada cuatro horas, de forma que en los momentos de mayor actividad se ocuparían en esta tarea un total de 736 personas. Estos datos concuerdan con los aportados por M. Barrio[33], según el cual en 1764

31. Sobre el diseño y construcción de estos diques, véase Piñera y Rivas, A. de La: «Los diques de carenar del Arsenal de Cartagena en el siglo xviii», en J. Fernández Pérez e I. González Tascón (ed.): *Ciencia, Técnica y Estado en la España Ilustrada*, Zaragoza, 1990, pp. 517-546.
32. Torrejón Chaves, J. (2001) «La nueva tecnología de la máquina de vapor y su aplicación en los arsenales de la Marina Española del siglo xviii», en E. Martínez Ruiz y M. de P. Pi Corrales (coord.): *Los ejércitos y las armadas de España y Suecia en una época de cambios (1750-1870)*, Ciudad Real, 2001, p. 326.
33. Barrio Gozalo, M.: «La mano de obra esclava en el arsenal de Cartagena a mediados del Setecientos», en *Investigaciones Históricas*, 17 (1997), pp. 81 y 90.

estaban destinados al trabajo de las bombas unos 900 hombres entre esclavos del Rey y penados. Pero, a pesar de una dotación tan numerosa, se requerían no menos de 12 horas de trabajo ininterrumpido para vaciar el dique grande, y 8 horas para el pequeño. Además, este trabajo era extremadamente duro y penoso, de forma que como reconocía el propio Jorge Juan en 1758, «han muerto muchos hombres de este tan fatigoso trabajo del pecho»[34]. Así que no es de extrañar que, tanto por razones de eficiencia como de humanidad, las autoridades de Marina de Cartagena empezaron a pensar en procedimientos alternativos de extracción de agua, entre los que rápidamente se abrió paso la máquina de vapor.

A finales de 1764 el nuevo Intendente de Cartagena, Juan Domingo Medina, preocupado por el penoso trabajo de esclavos y forzados en las bombas, y habiéndose enterado de que en Londres se valían de las «bombas de fuego» para sacar el agua, consultó con el constructor Edward Bryant –uno de los técnicos británicos reclutados por Jorge Juan en 1750– sobre la posibilidad de aplicar esas máquinas al achique de los diques. Como la opinión de Bryant fue favorable, proponiendo que las máquinas se trajesen de Inglaterra, Medina presentó su iniciativa al Secretario de Marina Julian de Arriaga[35] a comienzos de 1765. Pero Arriaga la sometió al dictamen de Jorge Juan, quien sorprendentemente se opuso a ella, arguyendo que «ya hubiera yo mismo propuesto a V. E. la máquina de sacar con fuego el agua, pero es ésta tan complicada, enredosa y expuesta, que nunca la he considerado propia para el intento»[36]. En vista del pronunciamiento tan rotundo de una personalidad de tanto prestigio como Jorge Juan, la propuesta de Medina no siguió adelante, al menos, de momento.

Sin embargo, el descontento y las protestas de los trabajadores de las bombas siguieron aumentando en los años siguientes, hasta el punto de que en 1767, según A. de la Piñera[37], 1.217 esclavos y forzados del total de 1.464 que estaban destinados en el arsenal, solicitaron ser trasladados a los presidios del Norte de África para librarse de tan penosa tarea. Ante la creciente escasez de esclavos y forzados, a comienzos de 1769 fue preciso recurrir a trabajadores voluntarios. Al mismo tiempo, según parece, el coste del trabajo en las bombas de cadena tendió a incrementarse y su eficiencia, a disminuir. Así se lo manifestó a Arriaga Juan Domingo Medina[38], aprovechando la oca-

34. *Apud* Piñera y Rivas*, op. cit.*, p. 541.
35. AGS, *Secretaría de Marina*, legajo 699. De Medina a Arriaga. Cartagena, 2 de febrero de 1765.
36. *Ibid.,* Madrid, De Jorge Juan a Arriaga. 10 de febrero de 1765.
37. Piñera y Rivas, A., *op. cit.*, p. 542.
38. AGS, *Secretaría de Marina*, legajo 699. De Medina a Arriaga. Cartagena, febrero de 1769.

sión para volver a plantear su iniciativa, pero cambiando significativamente de estrategia. Ahora consideraba que ya no sería necesario traer la máquina de vapor de Inglaterra, como había propuesto el difunto constructor Bryant, pues bastaría con que el maestro del obrador de bombas contra incendios del arsenal «imitase a tamaño grande el modelo que está en la Academia de Guardiamarinas de Cádiz, y que trajo de Inglaterra junto con otros instrumentos D. Jorge Juan»[39] en 1750. Con este nuevo planteamiento, Medina no sólo pretendería reducir los costes de introducción de la nueva tecnología, sino también, posiblemente, conseguir que Jorge Juan apoyase su iniciativa.

Como era previsible, Arriaga pasó nuevamente la propuesta de Medina a dictamen de Jorge Juan, quien en esta ocasión emitió un dictamen mucho más matizado[40], tal vez porque también se sintió más implicado personalmente. Comenzaba haciendo un sorprendente diagnóstico: que la eficiencia de las bombas manuales dependía sobre todo de la destreza de quienes las manejaban, y si ésta habían disminuido últimamente, se debía a que también se había reducido el número de moros esclavos[41]. Como solución a corto plazo, Jorge Juan proponía sustituir en ese tipo de trabajo a la mano de obra esclava y forzada por bomberos asalariados, pues era de suponer que al especializarse en esa tarea, iría aumentando su habilidad y también, en consecuencia, su rendimiento.

Con respecto a la máquina de vapor, Jorge Juan mantenía, en principio, su conocida opinión –ya expresada en 1765, pero también ¡en 1749!– contraria a la misma, «porque es sumamente compuesta y difícil de ponerse en práctica, no sólo por un mero fundidor (...) sino aún por los hombres más hábiles, con presencia del expresado modelo (la maqueta de la Escuela de Guadiamarinas), pues no es lo mismo sacar el agua de 6 u 8 pies, como en éste sucede, que sacarla de 30»[42]. Sin embargo, no podía por menos que admitir que, a medio plazo, tal vez sirviera para resolver los problemas de extracción de agua en los diques de Cartagena, y tambien podría ser de utilidad para el desagüe de las minas y el abastecimiento de las ciudades. En vista de ello, se mostró dispuesto a reconsiderar la cuestión, y después de dedicarse varios días «a examinarla por menor, con los cálculos de sus movimientos, efectos, fuerzas y materiales necesarios», llegó a la conclusión de que sería factible

39. *Ibid*.
40. AGS, *Secretaría de Marina*, legajo 699. De Jorge Juan a Arriaga. Madrid, 1 de mayo de 1769.
41. Como advierte Barrio Gozalo (*art. cit.*, p. 99), la disminución del número de moros esclavos se debió a la firma del tratado de paz con Marruecos en 1767 –negociado por el propio Jorge Juan en su célebre embajada–, y al canje general con Argel en 1768.
42. *Doc. cit*. en la nota 40.

si se conseguían barrenar con precisión los cilindros de bronce de 8 pies de longitud y 20 pulgadas de diámetro que eran parte esencial de estas máquinas. Habiéndolo consultado con Diego Rostriaga, maestro instrumentario del Príncipe de Asturias y técnico de acreditada habilidad, éste se ofreció a hacerse cargo de la ejecución de dichas piezas, ateniéndose estrictamente a sus instrucciones. En esas condiciones, Jorge Juan se mostró dispuesto a asumir personalmente la responsabilidad de diseñar dichas piezas y de supervisar su ejecución, cuyo coste aproximado calculaba en unos 1.000 pesos. Sólo en el caso de que el resultado fuese plenamente satisfactorio, se procedería a la construcción del resto de las piezas necesarias para dos máquinas de vapor. El coste de la construcción de cada una de ellas, según Jorge Juan, sería relativamente elevado, pues ascendería a entre 10.000 y 12.000. Pero, en contrapartida, sus costes de mantenimiento serían muy bajos: menos de una quinta parte que los de las bombas manuales, pues las astillas de desecho del arsenal casi bastarían para alimentar sus calderas.

Pero el cambio de opinión de Jorge Juan no fue suficiente para que la Secretaría de Marina se decidiese definitivamente a apoyar el proyecto. A comienzos de 1770, Arriaga todavía estaba dudoso y requirió un nuevo dictamen: nada menos que el del François Gautier, principal rival de Jorge Juan en el ámbito del diseño y construcción de los barcos de guerra, e introductor en España del llamado «sistema francés». Pero el dictamen de Gautier[43], además de negativo, como cabía esperar, fue decepcionantemente breve e inconcreto. Básicamente, se limitó a decir que las «bombas de fuego» ya eran conocidas desde finales del siglo XVII, que su coste era muy elevado, y que no se habían empleado en los arsenales de Francia e Inglaterra por temor a que ocasionasen incendios. A pesar de ello, Arriaga acabó por decidirse y ordenó que se avisase a Jorge Juan «para tratar de la obra de la bomba, sin pérdida de tiempo»[44].

No sabemos cuanto transcurrió entre la decisión de Arriaga y el comienzo efectivo de la construcción de las dos máquinas de vapor. Lo cierto es que en mayo de ese mismo año Jorge Juan fue nombrado director del Real Seminario de Nobles, y que Diego Rostriaga pasó a ser maestro instrumentario del Gabinete de Física de esa misma institución. Cabe suponer que a partir de entonces ambos colaboraron estrechamente en el diseño y elaboración de las piezas de las máquinas, pero apenas sabemos nada del ritmo de

43. AGS, *Secretaría de Marina*, legajo 699. De Gautier a Arriaga. El Ferrol, 17 de enero de 1770.
44. AGS, *Secretaría de Marina*, legajo 699. Minuta de Arriaga, sin fecha.

los trabajos, pues hay grandes vacios en la documentación[45]. A comienzos de julio de 1771, Jorge Juan informaba a Arriaga[46] de que ya se habían fundido y torneado los cuatro grandes cilindros de cobre, además de otras piezas, y proponía que las dos máquinas fuesen montadas en Madrid, para poder probarlas en presencia del Rey. Pero cuando ya parecía estar próxima la culminación del proyecto, todo se complicó pues Jorge Juan cayó gravemente enfermo. Hubo que requerir la colaboración del arquitecto y teniente de navío Julián Sánchez Bort quien, entre 1754 y 1771, había trabajado de forma casi ininterrumpida en las obras del arsenal y nueva población de El Ferrol[47]. Con su ayuda, se pudo concluir la primera máquina, según informaba Jorge Juan a Arriaga[48], por mano de Sánchez Bort –pues se encontraba imposibilitado para firmar–, en mayo de 1772. Ya se había hecho una primera prueba con resultados bastante alentadores, salvo porque se notó una progresiva disminución de su potencia, lo que atribuía al escaso poder calorífico de la leña como combustible. Para remediarlo, pedía que se les proporcionase una cierta cantidad –entre 150 y 200 arrobas de «carbón de piedra» británico– para repetir «las diligencias y pruebas de que deja instruido» a Sánchez Bort, incluso en presencia del Rey. Jorge Juan aprovechó la ocasión para proponer a Arriaga que si los resultados fuesen satisfactorios, se encargase al mismo Sánchez Bort la instalación de las dos máquinas en el Arsenal de Cartagena, habida cuenta «de lo mucho y bien que me ha ayudado (...) desde que estoy enfermo»[49]. Pero todavía tuvo que transcurrir otro año de reiteradas pruebas y ajustes. Así lo acreditan las diversas remesas de carbón asturiano y británico que se hicieron llegar a Madrid en los meses siguientes. A comienzos de 1773 Sanchez Bort informó a Arriaga[50] de que ya habían concluido satisfactoriamente las pruebas de la primera máquina, y le proponía que se encargasen ya las piezas necesarias para la segunda. Así se hizo y, en mayo de 1773, se consideró que ya estaba todo listo para proceder a su traslado y

45. Sobre la intervención de Diego Rostriaga en la elaboración de las piezas de las máquinas, sólo hemos encontrado un dato muy a posteriori: que en abril de 1776 se le abonaron 100 doblones –además de otros 50 para su hermano Celedonio– como gratificación.
46. AGS, *Secretaría de Marina*, legajo 699. De Jorge Juan a Arriaga. Madrid, 8 de julio de 1771.
47. Sobre la actividad de Sánchez Bort en El Ferrol, sigue siendo un estudio de referencia el de Rodríguez-Villasante, J. A.: *Tecnología y arte de la Ilustración: la arquitectura e ingeniería de Sánchez Bort en la obra pública, la industria y los arsenales de Marina*, Ferrol, 1988
48. AGS, *Secretaría de Marina*, legajo 699. De Jorge Juan a Arriaga. Madrid, 23 de mayo de 1772.
49. *Ibid*.
50. *Ibid.,* De Sánchez Bort a Arriaga. Madrid, 8 de enero de 1773.

montaje en Cartagena. De ello se encargó personalmente Sánchez Bort que en 15 de mayo anunciaba a Arriaga su llegada a Cartagena y su propósito de trazar un plano «para acordar con D. Jorge Juan el paraje y disposición en que se deben colocar dichas máquinas en la poza de bombas»[51]. Pero Jorge Juan ya no estaba en condiciones de supervisarlo, pues, como es bien sabido, se agravó la dolencia que padecía y falleció en junio de ese mismo año.

Fue Sánchez Bort, como estaba previsto, quien se encargó de llevar a cabo la instalación y puesta en marcha de las máquinas. El 10 de noviembre de 1773 se puso oficialmente en marcha la primera máquina de vapor en el dique pequeño del Arsenal de Cartagena, en presencia del jefe de escuadra José de Rojas, y del intendente Juan Domingo Medina, que había sido el primer impulsor de este proyecto. Según informó Sánchez Bort a Arriaga[52], esta máquina daba 10 golpes por minuto y vaciaba el dique en 24 horas, haciendo el trabajo de 330 hombres y consumiendo como combustible 100 quintales de astillas y madera de desecho. Asimismo, le manifestaba que su principal preocupación era «instruir a varios operarios para que en mi ausencia puedan manejarla sin tropiezo, especialmente el maestro mayor de bombas de apagar incendios, Antonio Delgado, que es habilísimo en su oficio»[53]. A comienzos de 1774, la máquina sufrió algunas averías e interrupciones en su funcionamiento, pero Sánchez Bort consiguió repararla, de forma que a finales de enero volvió a funcionar a pleno rendimiento: daba entre 10 y 12 golpes por minuto y hacía un trabajo equivalente al de 13 bombas de cadena. Un mes más tarde, Bort anunciaba a Arriaga[54] que el 26 de febrero de 1774 se había puesto en marcha la segunda máquina en el dique grande de dicho arsenal. Era algo más potente que la otra, pues daba 12 golpes por minuto, bombeando en cada uno de ellos 10 pies cúbicos de agua. Bort no había podido asistir personalmente al acto, pues se había lesionado en el proceso de instalación, pero reconocía que los maestros Antonio Delgado y Fulgencio Montesinos –capataz de carpinteros– le habían podido sustituir perfectamente, razón por la que pedía que se les mantuviese a ambos en el servicio de las máquinas, para asegurar su buen funcionamiento. Con ello puede decirse que Sánchez Bort dio por concluido el encargo que se le había hecho por mediación de Jorge Juan, pues en marzo de 1774 se le comisionó para proyectar la ampliación del puerto de San Sebastián. Por otra parte, en julio de ese mismo año se firmó un contrato con Matías Abadiano, asentista

51. *Ibid*., Cartagena, 15 de mayo de 1773.
52. *Ibid*., Cartagena, 13 de noviembre de 1773.
53. *Ibid.*
54. *Ibid*., Cartagena, 1 de marzo de 1774.

de El Ferrol, para suministrar 30.000 quintales anuales de carbón mineral con destino a las máquinas de vapor de Cartagena, al precio de 7.5 reales el quintal, lo que significa que ya se había renunciado a la idea de alimentarlas solamente con madera de desecho, pues un combustible tan pobre disminuía su potencia.

A partir de entonces, el mantenimiento y reparación de las dos máquinas de vapor del Arsenal de Cartagena quedaron en manos de los maestros artesanos en los que había depositado su confianza Sánchez Bort, y la verdad es que lo hicieron muy bien, sobrepasando ampliamente sus expectativas. Ya en 1777 Antonio Delgado propuso construir, con la ayuda de su sobrino Juan Antonio Delgado otras dos máquinas de vapor, para evitar que los trabajos de achique se interrumpiesen por las frecuentes averías. De momento, esta proposición no fue atendida, pero en los años siguientes, el aumento de las filtraciones en los diques obligó a recurrir nuevamente a las antiguas bombas manuales, con el consiguiente aumento de los costes. De hecho, en agosto de 1784 había en el Arsenal de Cartagena 622 personas dedicadas exclusivamente al trabajo de las bombas, la mayor parte de las cuales eran penados[55]. Esta situación obligó a las autoridades del arsenal a replantearse la necesidad de ampliar la dotación de máquinas de vapor. Entre junio y agosto de 1785 elevaron reiteradas instancias al Secretario de Marina, Antonio Valdés, solicitando autorización para construir otras dos nuevas máquinas. El ministro sólo accedió a que se construyese una, de momento, y con la precisa indicación, según Torrejón Chaves[56], de que fuese el capitán de navío Julián Sánchez Bort quien se encargase de ello. Pero no pudo ser así, pues por esas fechas, Sánchez Bort, que se encontraba en Cádiz dirigiendo la construcción del primer dique del Arsenal de La Carraca, había caído gravemente enfermo, y falleció el 31 de agosto de ese mismo año. En vista de ello, Valdés cursó una nueva orden, encomendando esa tarea a Antonio Delgado. Éste la llevó a cabo entre octubre de 1785 y marzo de 1787, con la ayuda de su sobrino Juan Antonio Delgado, que hasta entonces había trabajado en La Carraca, también como maestro de bombas contra incendios. A mediados de marzo de 1787 se hicieron las primeras pruebas de la nueva máquina, y empezó a prestar servicio regular a comienzos de mayo. Había costado 180.913 reales, pero era tan grande el ahorro que suponía en comparación con las bombas manuales, que se preveía amortizarla en menos de un año[57]. Además, tenía casi el

55. López de Haro González, J. C.: «La solución ilustrada al problema de los vagos, ociosos y malentretenidos», en *Revista de Historia Naval*, 111 (2010), pp. 44-45.
56. Torrejón Chaves, J., *op. cit.*, pp. 330-331.
57. *Ibid.*, pp. 332-335.

doble de potencia que las máquinas de Jorge Juan, sin que ni su tamaño ni su consumo de combustible fuesen mucho mayores. En vista de los resultados, se concedió a Antonio Delgado una gratificación de 30 escudos mensuales y se le encargó la construcción de una segunda máquina.

Lo cierto es que, a partir de entonces, los Delgado se convirtieron en los expertos de referencia, a nivel nacional, en la construcción de máquinas de vapor de tipo Newcomen, a pesar de que sus conocimientos técnicos eran meramente empíricos. De hecho, entre 1785 y 1787, al mismo tiempo que fundían las piezas para la primera máquina de Cartagena, las iban duplicando, con objeto de que sirvieran para otras dos nuevas máquinas que se tenía previsto instalar en los diques del Arsenal de La Carraca. Estas dos máquinas, gemelas de la de Cartagena, fueron también montadas por los Delgado[58] y empezaron a funcionar en noviembre de 1787. Por último, hay que mencionar que a finales de 1795 se puso en marcha la primera máquina de vapor en los diques del Arsenal de El Ferrol[59]. En su construcción y montaje intervino un cierto Juan Montesinos, que probablemente era pariente de aquel Fulgencio Montesinos que ayudó a Sánchez Bort a montar las primeras maquinas de vapor en el Arsenal de Cartagena.

En definitiva, al concluir el siglo XVIII los tres arsenales de la Marina contaban con máquinas de vapor, siendo el único sector de la industria española donde consiguió arraigar definitivamente la tecnología más emblemática de la Revolución Industrial. Es cierto que todas ellas eran de tipo Newcomen, el más primitivo e ineficiente. Pero también lo es que por su misma simplicidad se podía contar con técnicos autóctonos de formación meramente empírica, como los Delgado o los Montesinos, que no sólo fueron capaces de construirlas, sino también de mantenerlas y repararlas, lo que las aseguró una muy larga vida útil, como lo atestigua una serie de planos de las mismas, fechados en 1813, que se conservan en el Museo Naval. Semejante éxito contrasta vivamente con el fracaso de los repetidos intentos que se hicieron por esas mismas fechas, para introducir en España otros tipos de máquinas de vapor más avanzados, como las de efecto simple y condensador independiente en las minas de Almadén, o las de Watt de doble efecto, que en vano trató de aclimatar Fernando Casado de Torres. Pero, en contrapartida, también es cierto que las máquinas de Newcomen sólo se aplicaron a trabajos de bombeo en los arsenales de la Marina, que fueron prácticamente desconocidas fuera del ámbito militar, salvo como instrumentos de física experimental y, en consecuencia, que no tuvieron ninguna repercusión en la

58. *Ibid.,* pp. 340-342.
59. *Ibid.*, pp. 344 y ss.

economía real para usos civiles. Un dato bien significativo es el siguiente. El matemático Benito Bails, amigo y protegido de Jorge Juan, sin duda estaba al corriente de su intervención en el diseño de las máquinas de Cartagena, aunque no lo menciona en su *Elogio* de 1776. Sin embargo, dedica más de veinte páginas –y dos planos– a la máquina de vapor de tipo Newcomen en el tomo V de sus *Elementos de Matemática*[60], aunque se limita a citar a Desaguliers como fuente de información sobre su funcionamiento, y sólo menciona como ejemplos concretos de esta tecnología, dos máquinas francesas bastante antiguas: la de Fresnes (1732) y la de Montrelais (1757), sin hacer ninguna referencia a las de Cartagena.

Bibliografía

Anca Alamillo, A.: «Jorge Juan y su obra en los arsenales», en *Revista General de Marina*, T. 265 (2013), pp. 297-312.

Barrio Gozalo, M.: «La mano de obra esclava en el Arsenal de Cartagena a mediados del Setecientos», en *Investigaciones Históricas*, 17 (1997), pp.79-99.

Die Maculet, R. y Alberola Romá, A.: *La herencia de Jorge Juan. Muerte, disputas sucesorias y legado intelectual*, Alicante, 2002.

Die Maculet, R. y Alberola Romá, A.: «Jorge Juan Santacilia. Síntesis de una vida al servicio del Estado», en *Revista General de Marina*, T. 265 (2013), pp. 229-250.

Gómez Urdáñez, J. L.: *El proyecto reformista de Ensenada*, Lérida, 1996.

Gómez Urdáñez, J. L.: «El ilustrado Jorge Juan, espía y diplomático», en *Canelobre*, 51 (2006), pp. 107-127.

Guijarro Mora, V.: *Los instrumentos de la ciencia ilustrada*, Madrid, 2002.

Harris, J. R.: *Industrial Espionage and Technology Transfer. Britain and France in the Eighteenth Century*, Aldershot, 1997.

Helguera Quijada, J.: «Las misiones de espionaje industrial en la época del Marqués de la Ensenada, y su contribución al conocimiento de las nuevas técnicas metalúrgicas y artilleras a mediados del siglo xviii», en VV. AA., *Estudios sobre la Historia de la Ciencia y de la Técnica*, Valladolid, 1988, vol. II, pp. 671-695.

Helguera Quijada, J.: «Antonio de Ulloa en la época del marqués de la Ensenada: del espionaje industrial al Canal de Castilla (1749-1754)», en *Actas del II Centenario de Don Antonio de Ulloa*, Sevilla, 1995, pp. 197-218.

Helguera Quijada, J.: «The Beginnings of Industrial Espionage in Spain (1748-1760), en *History of Technology*, XXX (2010), pp. 1-12.

60. Bails, B.: *Elementos de Matemática*, tomo V, Madrid, 1780, pp. XIX-XXII y 586-604.

Helguera Quijada, J. y Torrejón Chaves, J.: «La introducción de la máquina de vapor», en Ayala-Carcedo, F.J. (Dir.), *Historia de la Tecnología en España*, Barcelona, 2001, T. I, pp.241-252.

Lafuente, A. y Peset, J. L.: «Política científica y espionaje industrial en los viajes de Jorge Juan y Antonio de Ulloa (1748-1751)», en *Mélanges de la Casa de Velázquez*, XVII (1981), pp. 234-262.

Lafuente, A. y Peset, J. L.: «Militarización de las actividades científicas en la España ilustrada (1726-1754)», en Peset J. L. (Ed.), *La ciencia moderna y el Nuevo Mundo*, Madrid, 1985, pp. 127-147.

Lafuente, A. y Valverde, N.: *Los mundos de la Ciencia en la Ilustración Española*, Madrid, 2003.

Martínez Martínez, M.: *Los forzados de la Marina en la España del siglo XVIII (1700-1775)*, Almería, 2013.

Merino Navarro, J. P.: *La Armada española en el siglo XVIII*, Madrid, 1981.

Merino Navarro, J. P.: «La misión de Antonio de Ulloa en Europa» *Revista de Historia Naval*, II (1984), 4, pp. 5-22.

Morales Hernández: «Jorge Juan en Londres», *Revista General de Marina*, 184 (1973), pp. 663-670.

Pérez Estévez, R.: «Delincuencia en la España del siglo XVIII: los presidiarios de Marina», en *Cuadernos de investigación histórica*, 3 (1879), pp. 259-273.

Piñera y Rivas, A. de la: «Los diques de carenar del Arsenal de Cartagena en el siglo XVIII», en J. Fernández Pérez e I. González Tascón (Ed.): *Ciencia, Técnica y Estado en la España Ilustrada*, Zaragoza, 1990, pp. 517-546.

Sánchez Carrión, J. M.: «La red de espionaje global del marqués de Ensenada. Jorge Juan en Inglaterra», en *Ingeniería Naval*, LXXX (2011), nº. 895, pp. 74-78.

Solano Pérez-Lila, F. de: *La pasión de reformar: Antonio de Ulloa, marino y científico (1716-1795)*, Cádiz, 1999.

Tann, J. y Brecking, M.: «The International Difussion of the Watt Engine, 1775-1825» en *The Economic History Review*, XXXI (1978), pp. 541-564.

Taracha, C.: «El Marqués de la Ensenada y los servicios secretos españoles en la época de Fernando VI», en *Brocar*, 25 (2001), pp. 109-122.

Taracha, C.: *Ojos y oídos de la Monarquía Borbónica. La organización del espionaje y la información secreta durante el siglo XVIII*, Madrid, 2011.

Torrejón Chaves, J. (2001) «La nueva tecnología de la máquina de vapor y su aplicación en los arsenales de la Marina Española del siglo XVIII», en E. Martínez Ruiz y M. de P. Pi Corrales (Coord.): *Los ejércitos y las armadas de España y Suecia en una época de cambios (1750-1870)*, Ciudad Real, 2001, pp. 319-354.

Valverde Pérez, N.: *Actos de precisión. Instrumentos científicos, opinión pública y economía moral en la Ilustración española*, Madrid, 2007.

Valverde Pérez, N.: *Un mundo en equilibrio. Jorge Juan (1713-1773)*, Madrid, 2012.