

MANUEL SILVA SUÁREZ, ed.

EL OCHOCIENTOS

De las profundidades a las alturas

TÉCNICA E INGENIERÍA
EN ESPAÑA

MANUEL SILVA SUÁREZ, ed.

**TÉCNICA E INGENIERÍA
EN ESPAÑA**

VII

EL OCHOCIENTOS
De las profundidades a las alturas

Tomo II

Josep M. Benaül Berenguer	Amaya Sáenz Sanz
Francisco Fernández González	Jesús Sánchez Miñana
Francisco Montes Tubío	Manuel Silva Suárez
María Dolores Pérez Calle	Aingeru Zabala Uriarte
Antoni Roca Rosell	

Con la colaboración adicional en los «Apuntes biográficos» de:

José V. Aznar García, Francesc X. Barca Salom, Jordi Cartaña i Pinén, Vicente Casals Costa,
Juan I. Cuadrado Iglesias, Cecilio Garriga Escribano, Luis Mansilla Plaza,
José I. Muro Morales, Javier Ortega Vidal, Juan Pan Montojo,
Ignacio Pérez-Soba Díez del Corral, Fernando Sáenz Ridruejo, Agustín Sancho Sora,
Leandro Sequeiros San Román, Julián Simón Calero, Rafael Uriarte Ayo,
Fernando Vea Muniesa, M.^a Ángeles Velamazán Gimeno y Patricia Zulueta Pérez

REAL ACADEMIA DE INGENIERÍA
INSTITUCIÓN «FERNANDO EL CATÓLICO»
PRENSAS DE LA UNIVERSIDAD DE ZARAGOZA

1

Del semáforo al teléfono: Los sistemas de telecomunicación*

Jesús Sánchez Miñana
Centre de Recerca per a la Història de la Tècnica
Universitat Politècnica de Catalunya

A Sebastián Olivé Roig, in memoriam

El XIX fue el siglo de las telecomunicaciones, palabra, por cierto, acuñada en el siguiente. Desde las postrimerías del XVIII era un hecho la telegrafía óptica, que todavía daría servicio durante décadas en algunos países, antes de ceder el paso a la eléctrica en la mayor parte de las aplicaciones civiles, y continuaría utilizándose en algunas de estas y en las militares hasta el advenimiento de la radio. La telegrafía eléctrica reinó casi desde sus comienzos en la larga distancia continental y pronto salvó los océanos con cables submarinos. En el último cuarto del siglo el teléfono irrumpió en la cotidianeidad de la corta distancia y su creciente alcance se vería incrementado espectacularmente en el XX con la invención de la válvula electrónica, que hizo también posible el desarrollo de la radio.

La sección I del presente capítulo, «La telegrafía óptica hasta la llegada de la eléctrica», se ocupa de la aplicación de este sistema en España, desde los primeros ensayos conocidos, contemporáneos de la construcción de la primera línea francesa en 1794, hasta que a mediados de la centuria la realidad operativa de la electricidad impuso la paralización, primero, y el abandono, después, de los proyectos de extender la tardía red civil de torres construida a partir de 1844. Esta dejó, no obstante su corta vigencia, el importante legado de un cuerpo estatal creado para establecerla y explotarla que, sin solución de continuidad, pasó a gestionar el servicio público de la telegrafía eléctrica. Pero si la aplicación civil de la telegrafía óptica tuvo poca relevancia, no sucedió lo mismo en el ámbito militar, donde la sucesión de contiendas que el país sufrió proporcionaron amplio campo a su utilización temporal con carácter estratégico.

Hay que destacar que, si bien la tecnología óptica era relativamente sencilla, nunca se recurrió en este periodo a soluciones foráneas, y pudo haber existido un fugaz prurito nacionalista. Lamentablemente, en los años de las comunicaciones eléc-

* El capítulo 12 del primer tomo, «La tecnología telegráfica y telefónica», es una síntesis ilustrada del material aquí presentado.

tricas no se encuentran excusas como las que dio una publicación oficial por la compra de anteojos en 1844 al suministrador de los telégrafos franceses, que justificó «a causa de la urgencia con que era preciso proveerse de un número de ellos tan considerable que ni los poseían los fabricantes españoles ni tampoco les era dado hacerlos en tan corto tiempo como se necesitaba»¹.

La telegrafía eléctrica fue, a diferencia de la óptica, un servicio público, pero, como ella, un monopolio *de facto* del Estado que hasta 1868 no se vio reconocido en un texto legal, cuando Sagasta, en el preámbulo de un decreto programático de la Revolución de Septiembre, justificaba así la autorización a particulares para establecer líneas:

Otros Gobiernos verían en esta extensión de las comunicaciones telegráficas un motivo de peligro o de inquietud. Porque los Gobiernos populares no deben temerlas, y porque en ningún caso podría ser peligrosa la incorporación de líneas de corta extensión u organizadas como las de los ferrocarriles, y sometidas necesariamente a la intervención de las del Estado, [el Gobierno] solo consigna en las nuevas bases el derecho de suspender su uso en determinados casos; derecho que procede de la naturaleza de esta función, que, como los correos, la viabilidad y otras, pertenece al Estado².

Fuera de este monopolio quedaron, también de hecho, las líneas telegráficas de los ferrocarriles, que parece que nunca fueron objeto de regulación, si bien desde 1868, antes de la Revolución, se intentó que las compañías abrieran sus estaciones al público y enlazaran con las del Estado, lo que no se logró hasta 1882. Además, hubo algunas líneas, muy pocas, de titularidad particular, que requerían autorización para funcionar y no podían dar servicio público. Por otra parte, el Ejército dispuso de redes permanentes propias en solo unas pocas ciudades.

Si hubo españoles que trabajaron en telegrafía óptica desde sus comienzos, aunque la aplicación a gran escala llegara tarde y a deshora, no ocurrió lo mismo con la eléctrica, exceptuando el caso singular de Francesc Salvà i Campillo. Su obra no tuvo continuidad, de modo que la nueva tecnología hubo de ser importada totalmente. Sin embargo, el deseo de mejora y las dotes de algunas personas, especialmente funcionarios del Cuerpo de Telégrafos, produjeron desde el principio del servicio una serie de aportaciones que, si bien rara vez aprovechó la entidad estatal, rutinaria y carente crónica de recursos, dan cierta especificidad al relato de lo sucedido en España, que de otro modo quedaría reducido a un repaso de tecnología bien conocida, patrimonio de la telegrafía universal.

Las consideraciones que anteceden, tanto por lo que se refiere al tamaño y el servicio prestado por la red del Estado como a las contribuciones de sus profesionales, justifican que la sección II, «La telegrafía eléctrica», se refiera casi exclusivamente a ella. Líneas y estaciones se tratan por separado, y en ambas se pasa revista cronológica a sus elementos componentes.

¹ *Boletín Oficial de Caminos, Canales y Puertos*, 28-II-1846: 61.

² *Gaceta de Madrid*, 30-XI-1868: 3-6.

Sobre la mecanización de la industria textil: un estudio adicional*

Josep M. Benaül Berenguer
Universitat de Barcelona

I

SOBRE LA MECANIZACIÓN EN LA INDUSTRIA ALGODONERA

I.1. *Preparación e hilatura*

Las primeras máquinas de hilar *jennies* fueron construidas en España en 1785, veintiún años más tarde que la de Hargreaves, y su versión perfeccionada por Haley, con menor demora, en 1792¹. En 1789, veinte años después de haber sido patentadas en el Reino Unido, las primeras *water-frames* fueron construidas en Ávila, junto con las primeras máquinas de cardar, por la misma familia que las había introducido en Francia². La experiencia de la Real Fábrica de Algodón de Ávila fue un fracaso como motor de una industria regional, pero algunas máquinas construidas allí y alguno de sus mecánicos encontraron un terreno mejor abonado en Cataluña a partir de 1793³. No obstante, en el tramo final del Setecientos la mayor propagación correspondió a la *jenny*. A partir de 1800 se registró la difusión de la *water-frame* y de la *throstle*⁴ y la primera introducción de la *mule-jenny*⁵; después de 1814 se propagó la bergadana, que devino la versión más común de la *jenny* mejorada.

* Véase también el capítulo 5 del primer tomo de este volumen, Josep M. BENAUL BERENGUER: «La industria textil: mecanización, transferencia de tecnología y organización productiva».

¹ J. K. J. THOMSON, 2001: 126; A. SÁNCHEZ, 2000b: 164-170; À. SOLÀ, 2002: 143-168.

² G. MARTÍN GARCÍA, 1989: 341.

³ J. K. J. THOMSON, 2003: 313-315.

⁴ La tecnología de estas máquinas llegó desde Francia a la Real Fábrica de Ávila; en su documentación aparecen mencionadas como *troceles*, versión fonética de otra versión previa, la francesa *trocelles*, a partir del original inglés *throstles*. Aparecen perfectamente inventariadas en Ávila, pero debieron de construirse antes. En 1807 tres surtidos de carda e hilatura, que incluían *throstles* de 120 husos, fueron transferidos a sendas empresas de Barcelona, Manresa y El Puerto de Santa María (G. MARTÍN GARCÍA, 1989: 344-350).

⁵ J. K. J. THOMSON, 2004: 266.

La maquinaria de preparación de la hilatura se introdujo casi al mismo tiempo. Generalmente, por su tamaño, no podía ser impulsada de forma manual y se ubicaba en establecimientos especializados o con inclusión de la hilatura, movidos por energía hidráulica o por caballerías. El sistema fabril concebido por Arkwright⁶, un conjunto mecanizado integral de preparación e hilatura (cardadoras, manuales, mecheras y *water-frames*), lo hallamos en Ávila, Barcelona y en Manresa en el albor del siglo XIX⁷. En cambio, todavía no aparecen datos de las primeras máquinas de abrir el algodón (de batidores, para las que se usaban los galicismos *batuar* o *batán*, y del diablo, también llamado *velón*, anglicismo a partir de *willow*)⁸. La hilatura mecánica avanzó con cierta lentitud hasta 1830. La *mule* no se difundió hasta la década de 1820. Ello determinó que la expansión de la hilatura manual (*jenny* y bergadana) fuera muy prolongada. Algunos trabajos han interpretado la coexistencia de las diversas tecnologías de hilatura, a la vez que han enfatizado su complementariedad, considerando su distinta implantación territorial y su adaptabilidad a estructuras productivas comarcales diferenciadas⁹. A nuestro entender, estos enfoques atribuyen un alcance excesivo al papel de la hilatura continua y a la vez tienden a subvalorar que el factor decisivo, el que dio fuelle al reinado excesivamente largo de la *jenny*, fue la lenta implantación de la *mule-jenny* hasta mediados de los años treinta, aun admitiendo su apreciable progreso en la década de 1820.

La sustitución de la *mule-jenny* por la selfactina¹⁰ se vio frenada inicialmente por las dificultades, todavía planteadas hacia 1855, para elaborar números altos (hilos más finos) con esta última. Dichos problemas fueron superados con el perfeccionamiento de la maquinaria, y no debe olvidarse que a partir de 1870 prácticamente cesó la construcción de *mule-jennies* en Gran Bretaña¹¹. En las décadas siguientes las selfactinas fueron cada vez más grandes y veloces; una de las primeras empresas que aplicó estas máquinas grandes fue Batlló Hermanos, que en 1870 inauguró una magnífica fábrica en Les Corts de Sarrià, municipio aledaño a Barcelona; con sus selfactinas de 900, 960, 1.000 y 1.200 husos, que sumaban un total de 50.000, y sus 1.300 telares mecánicos, había superado en equipo productivo a La España Industrial¹². Además, en estos años, según nos muestran los estudios de empresas, se moderni-

⁶ G. TIMMINS, 1996: 42.

⁷ Serra, Torruella y Cía. en 1799 en Barcelona, y Codina, Dalmau, Martí y Serrano en 1806 en Manresa (A. SÁNCHEZ, 2000a: 496); en 1806, en Ávila (G. MARTÍN GARCÍA, 1989: 345-346).

⁸ J. O. RONQUILLO, 1855: vol. III, 177.

⁹ L. FERRER, 2004; O. RAVEUX y A. SÁNCHEZ, 2010; A. SÁNCHEZ, 2010.

¹⁰ En 1854, Laureano Figuerola dató en 1844 la introducción de dicha máquina en Cataluña (J. BENET y C. MARTÍ, 1976: vol. I, 353).

¹¹ J. O. RONQUILLO, 1855: vol. III, 177; R. HOLDEN, 2003: 37-40.

¹² A. GARCÍA BALANÀ, 2004: 516.

Técnica e industria en diversos sectores agroalimentarios

Francisco de Paula Montes Tubío y María Dolores Pérez Calle
Universidad de Córdoba

La industria agroalimentaria fue, a lo largo del Ochocientos, la de mayor relevancia socio-económica. Lo fue por su valor económico, así como por su distribución sobre todo el solar nacional. Si la tríada mediterránea —trigo, uva y oliva— da lugar a los preparados de mayor producción —harina, vino y aceite—, no hay que olvidar la existencia de otros muchos subsectores fabriles relacionados con la alimentación. Algunos como el conservero o el lácteo requerirán de operaciones técnicas como esterilizaciones, centrifugaciones o enfriamientos industriales, de indudable interés. El presente capítulo sobrevuela diversos subsectores agroalimentarios, excluidos los relativos a la tríada mediterránea¹, entrelazando apuntes sobre los procesos técnicos con notas sobre la industrialización en sí.

I

LA ELABORACIÓN DE LAS CONSERVAS

I.1. *Entre tradición y modernización*

Los alimentos que utiliza el hombre son perecederos, por lo que desde los primeros tiempos ha intentado alargar su duración en condiciones adecuadas (E. PRIMO YÚFERA, 1972: 301). Las mejoras que la Revolución Industrial introduce en los transportes de dichos productos, tanto en ferrocarril como en barco de vapor, van a permitir el intercambio comercial con países muy alejados. Además, los importantes avances en la conservación de alimentos que se producen en el siglo XIX, como las técnicas de esterilización, pasteurización y el frío artificial, incrementarán notablemente las ventajas que ofrece el transporte rápido.

La preocupación por la conservación de los alimentos se manifiesta en numerosas publicaciones españolas de finales de siglo. Por ejemplo, el doctor en farmacia F. SORIA SÁNCHEZ (1899: 1), comienza su obra diciendo:

¹ Sobre la cuestión, véase el capítulo 9 del primer tomo de este mismo volumen: M. SILVA SUÁREZ y F. MONTES TUBÍO: «Agroindustria de la tríada mediterránea: apuntes sobre su renovación técnica».

Cuando las sustancias alimenticias, animales o vegetales, se abandonan a sí mismas en el medio atmosférico ordinario experimentan, más o menos rápidamente, profundas alteraciones, que primeramente les quitan su valor como alimentos y terminan por su completa destrucción al cabo de un tiempo variable.

Siempre se ha tratado de combatir esta descomposición espontánea, y se ha discurrido para conservar en las sustancias alimenticias su gusto y su valor nutritivo el mayor tiempo posible.

No hay necesidad de insistir extensamente acerca del interés capital que presenta la preparación de tales conservas. Cuando un país del globo suministra un producto dado en cantidad exagerada para su propio consumo, un procedimiento que asegure la conservación a largo plazo de este producto permite que de él se aprovechen las comarcas donde no lo hay.

La conserva de los alimentos es una manipulación que evita o ralentiza su deterioro, el crecimiento de bacterias, levaduras, hongos y otros microorganismos, retrasa la oxidación de las grasas e impide la decoloración natural durante la preparación de los mismos.

I.2. Las técnicas de conservación de alimentos

I.2.1. Los métodos tradicionales

Los métodos tradicionales de conservación de alimentos hasta el siglo XIX eran, fundamentalmente (J. D. LIRA MAAS, 2012: 5-6):

- *Desecación*, bien al sol, aplicado mayoritariamente a las frutas, o por calor artificial.
- *Salazón*, que se efectúa en seco, o en salmuera. En seco provoca la deshidratación parcial de los alimentos. Existe la posibilidad de salar frutas y vegetales, aunque lo frecuente es aplicar el método en alimentos tales como carnes o pescados. La sal retira el contenido acuoso de los alimentos mediante un proceso conocido por ósmosis. Cuando dos soluciones acuosas con diferente concentración de soluto se encuentran separadas por una membrana semipermeable, se genera un trasvase de agua desde la zona de más baja concentración o hipotónica hacia la de alta concentración o hipertónica, buscando el equilibrio. La conservación en salmuera consiste en preparar una solución concentrada de sal (solución salina al 70 u 80%), a la que se puede agregar azúcar, sal de ajo y hierbas de olor para condimentar.
- *Frío natural*, que utiliza el hielo producido naturalmente en zonas frías, y que era conservado en los neveros².
- *Ahumado*, una de las técnicas de conservación de los alimentos más antigua. Los alimentos expuestos al humo duran más tiempo sin descomponerse y

² Tanto la desecación al sol como la salazón o el uso del frío tienen un punto en común, que es la eliminación del agua para que los microorganismos no proliferen. Aunque en el caso del frío no se elimina el agua, el hielo ya no es utilizable por los microorganismos.

El alumbrado de las costas y puertos: los faros

Amaya Sáenz Sanz
CEHOPU-CEDEX, Ministerio de Fomento

En el siglo XIX hay un salto cuantitativo y cualitativo en la construcción de faros, cuya presencia en las costas españolas se multiplica en beneficio de la navegación y el comercio marítimos. Tras la atonía constructiva del primer tercio de siglo, el impulso dado a la organización de las obras públicas durante el reinado de Isabel II es determinante en este campo, de tal manera que, si al comenzar la centuria había en funcionamiento una veintena de faros, algunos de remoto origen —la mayoría en los puertos principales y eran simples fanales o luces de puerto—, a su término se habían construido y entrado en servicio unos 170, en gran parte al amparo del *Plan general para el alumbrado marítimo de las costas y puertos de España e islas adyacentes*, que vio la luz en 1847.

I

ORGANIZACIÓN DEL SERVICIO DE ALUMBRADO COSTERO

El *Plan* de 1847 fue la pieza fundamental en la organización del servicio de alumbrado marítimo, acometida con notable éxito en la centuria. Como resultado, la construcción de los faros, su conservación y el alumbrado de las costas quedaron a cargo del Estado, con arreglo a los créditos consignados anualmente en los presupuestos generales, y bajo la gestión técnica de la Dirección General de Obras Públicas y de los ingenieros del Cuerpo de Caminos, Canales y Puertos¹.

¹ La organización de las obras públicas impulsada al despuntar el siglo XIX por Agustín de Betancourt con la creación del Cuerpo, la Inspección General y la Escuela de Caminos y Canales fue retomada a la muerte de Fernando VII con, entre otras iniciativas, la creación en 1833 de la Dirección General de Caminos —segregada de la de Correos— y la reapertura en 1834 de la Escuela. Esta Dirección General de Caminos dependió inicialmente de las Secretarías de Estado y del Despacho de Fomento, de Interior y de Gobernación, hasta su integración en 1847 en el Ministerio de Comercio, Instrucción y Obras Públicas, con el nombre ya de Dirección General de Obras Públicas. En 1851 pasó al recién creado Ministerio de Fomento, al que perteneció hasta 1900.

Hasta entrado el Ochocientos, el alumbrado de las costas dependía de instituciones de carácter local vinculadas a la navegación, la pesca y el comercio marítimo —ayuntamientos, juntas, puertos, corporaciones de navegantes, etc.—, que elegían el emplazamiento de los faros en función de intereses de zona y sufragaban su construcción con cargo a las matrículas de los barcos o por medio de arbitrios e impuestos que el Gobierno recaudaba de forma un tanto anárquica². Las obras propiamente dichas eran por entonces competencia de los ingenieros militares y de la Marina, si bien, como ocurrió con las obras costeras en general, andando el siglo pasaron a depender del Cuerpo de ingenieros de Caminos, cuyo Reglamento se estableció en 1836 y en cuyos miembros recayó la inspección del servicio, la redacción de los proyectos y la dirección de los trabajos, que con los años se encauzarían a través de las jefaturas de obras públicas existentes en las distintas provincias marítimas³.

En este cambio de orden y competencias, en materia de faros el hito principal fue la creación en 1842 de la Comisión de Faros⁴, dependiente de la Dirección General de Caminos, que dirigía entonces Pedro de Miranda. Inicialmente estuvo compuesta por ingenieros de Caminos y oficiales de igual categoría de la Armada, siendo su primer presidente el veterano Juan Subercase, entonces también director de la Escuela de Caminos⁵, que la encabezó hasta su muerte en 1856. En su composición inicial, integraban la Comisión junto a este ingeniero los subinspectores del Cuerpo de Caminos José García Otero y Baltasar Hernández, el brigadier de la Armada Agustín Bocalán y el capitán de navío Baltasar Vallarino, como vocales, y el ingeniero ayudante 1.º de Caminos Toribio de Areitio, como secretario. La Comisión quedó encargada de

la redacción de la estadística de nuestro alumbrado marítimo, [...] la discusión y propuesta del sistema que deba seguirse en el establecimiento, construcción, iluminación y servicio de los faros de España y de sus posesiones de Ultramar para conseguir su mejora y uniformidad con vista de los adelantamientos que se han hecho en otras naciones; y [...] todo lo demás relativo a este ramo del servicio que disponga la Dirección General.

Fruto de estos trabajos, en 1847 vio la luz el antes citado *Plan general para el alumbrado marítimo*; todavía en 1899 la *Revista de Obras Públicas* se vanagloriaba de que era «uno de los mejores, más sencillos y económicos de Europa»⁶. En él se cla-

² Así, los llamados *arbitrios de linterna o fanal*, con cuotas que variaban según el tipo de buque, o por tonelada o por lugar de matrícula.

³ A finales de la década de los cuarenta había oficinas o jefaturas de Obras Públicas en todas las capitales de provincia, al principio dependientes de la Dirección General a través de las jefaturas de distrito en las que esta organizó inicialmente el territorio. A finales del siglo, los trabajos portuarios se fueron desligando progresivamente de estas jefaturas con la aparición de las juntas de Obras de Puertos.

⁴ Fue creada por Orden del Regente del Reino de 4 de enero de 1842.

⁵ Subercase fue director de la Escuela en dos periodos sucesivos, entre 1837 y 1848 y de 1855 hasta su muerte al año siguiente.

⁶ «Obras marítimas», *Revista de Obras Públicas, número extraordinario*, 1899: 115. Por entonces el *Plan* había experimentado sucesivas reformas en los años 1880 y 1881.

Arquitectura y propulsión naval

Francisco Fernández González
Universidad Politécnica de Madrid

I

PANORAMA DEL SIGLO: LOS BARCOS

España no asiste como mera espectadora al progreso naval del siglo. Desde los primeros años la Armada y los navieros mantienen su atención y su interés en los nuevos productos y materiales. Ante la carencia de una industria nacional capaz de construirlos, se importan los mejores ofertados y se estudian las soluciones que incorporan. Los barcos que se encargan en Inglaterra, en Francia y en Norteamérica son definidos, y en muchos casos diseñados, por ingenieros y armadores españoles, que muy a menudo se convierten en patrocinadores e impulsores de las nuevas tecnologías que desarrollan las fábricas y los astilleros extranjeros.

I.1. La arquitectura naval

La arquitectura naval que reciben los ingenieros del Ochocientos añade al arte que presentaba Juan Bautista LAVANHA (1618) doscientos años antes las herramientas científicas y los métodos técnicos nuevos que impulsaron Jorge JUAN Y SANTACILLA (1771) y Fredrik Henrik af CHAPMAN (1781), entre otros. Lavanha era un pionero en recomendar el uso de modelos de astillero, lo que a mitad de la centuria descubriría John W. GRIFFITHS (1854), y Juan enuncia los temas que desea investigar y aclarar en su obra, y con ellos define el campo de interés de una arquitectura naval, aunque no la llama así¹: fuerza del viento en las velas, curvatura de estas, fuerza del agua sobre el casco, deriva, escora, acción del timón, balance y cabeceo, maniobras, aguante de vela, efecto de las olas y golpes de mar, quebranto. Chapman asume la dificultad de la arquitectura naval y define sus temas y sus objetivos, en los que resume los problemas que trataron, por ejemplo, Bouguer, Euler y Juan.

¹ F. FERNÁNDEZ GONZÁLEZ, 2010.

I.2. *Cambios en las flotas y en los barcos*

La construcción naval está estrechamente relacionada con el comercio marítimo. En el siglo XIX la población mundial creció rápidamente: en muchos países se duplicó y se triplicó, y en otros, como los Estados Unidos, aumentó más aún. La explotación de los recursos de las tierras de ultramar provocó el desarrollo de las flotas militares y de las comerciales.

La madera era reemplazada por el hierro; la vela, por el vapor. La flota mercante mundial de 1840 llegaba a 9 millones de toneladas de registro bruto (Mtrb)² de veleros y 368.000 Mtrb de vapores. En 1860 los veleros llegaron a 15 millones de toneladas de registro bruto y la flota de vapor se quintuplicó hasta 1,75 Mtrb. En los veinte años siguientes apenas creció la vela, y los vapores llegaron a 5,75 Mtrb, que para 1900 ya sumaban 13,5 Mtrb, mientras los veleros se reducían hasta 8,5 Mtrb. Así, las nuevas tecnologías que se habían ensayado en la primera mitad del siglo llevaron a la aplicación decidida del hierro y del vapor en la segunda mitad.

Los barcos crecieron en tamaño buscando la mejor economía. La madera como material para las estructuras dejaba de ser útil a partir de unos 50 metros de eslora y era difícil encontrar los maderos con el tamaño, la forma y la calidad requeridos. El desarrollo de la siderurgia permitió emplear el hierro en las curvas de baos, pues había escasez de maderos de figura. Finalmente el hierro sustituyó a todas las piezas internas de madera del casco, con excepción de las tablas de los forros y cubiertas. Así se desarrolló a mediados del siglo la construcción compuesta, que fue adoptada casi universalmente para los veleros tipo *clipper*.

El hierro para los vapores se adoptó aún antes que para los veleros. El peso del casco en los barcos de madera llegaba al 45-50% del desplazamiento, mientras que en los de hierro solo representaba el 25%. El porte medio de los veleros mercantes de 1860 era de unas 165 toneladas, y el de los vapores, de unas 230. Entonces un barco de 1.000 toneladas se consideraba grande. Los portes medios de los cargueros en servicio en 1870-1880-1890-1900 eran, respectivamente, de unas 870-1.330-1.500-1.900 toneladas. En cambio, los tamaños medios de los barcos que se construían esos años eran cada vez mayores, de 1.050-1.580-2.150-3.000 trb, respectivamente³.

Los escantillones de los barcos de hierro eran considerados por muchos excesivamente débiles. Se temía que los fondos de hierro se gastaran rápidamente, por dentro por la acción del agua de sentinas y por fuera por la del agua del mar. Cuando en Inglaterra se botó el *Himalaya* en 1853, se creía que sería un riesgo transportar con él tropas en caso de guerra, pero, como los franceses continuaban construyendo barcos forrados con hierro, los británicos debían hacer lo mismo⁴. Sin embargo, este buque

² Se abrevia *trb* el tonelaje de arqueado o de registro bruto. *Mtrb* indica millones de toneladas de registro bruto.

³ J. W. DOEFFER, 1979.

⁴ *Ibíd.*

6

La navegación submarina: notas sobre su desarrollo desde el Renacimiento hasta el siglo XIX

Antoni Roca Rosell
Universidad Politécnica de Cataluña

La navegación submarina es un reto que la humanidad se ha planteado desde tiempos inmemoriales¹. Se encontraron pronto medios de inmersión que facilitaban los trabajos bajo el agua en, por ejemplo, construcción de puentes o de puertos. Sin embargo, las oportunidades bélicas que brindaba el hecho de sumergirse y, sobre todo, la posibilidad de navegar bajo el agua fueron un estímulo muy relevante.

Como ha recordado Alex Roland², en el siglo XIX no se inventó la navegación submarina; en realidad, los principios teóricos y buena parte de las soluciones técnicas ya se habían conseguido en el Renacimiento. Durante el siglo XIX, se llevaron a cabo innovaciones importantes, probablemente decisivas, que convirtieron los diseños de un par de siglos antes en ingenios *prácticos*, capaces de funcionar de manera regular y fiable.

El proceso no solo necesitó de nuevas técnicas y nuevos materiales, sino que tenía como elemento añadido una cuestión de orden ideológico y moral: la legitimidad o no de la guerra submarina. Luchar oculto bajo el mar había chocado y continuó chocando con las concepciones dominantes de hacer la guerra. Roland señala que, por un lado, la guerra submarina suponía una estrategia de «David» frente a los «Goliat» que eran los grandes buques de guerra de la época, magníficos veleros; pero, por otro lado, destaca el carácter «infernalo» y «diabólico» atribuido a las armas submarinas, causa de reticencias y rechazos en los medios militares de todo el mundo. Solo en condiciones particulares se acabó incorporando el uso de armas submarinas³.

¹ Ver, por ejemplo, J. A. FORÈS I JANÉ *et al.* (2009), en el que se reconstruye la historia de la navegación submarina desde la Antigüedad hasta nuestros días, con una atención especial a la contribución de Narcís Monturiol, dado que la publicación corresponde a una exposición conmemorativa dedicada a la inmersión organizada en el Museu Marítim de Barcelona en 2009-2010.

² Ver su tesis doctoral de 1977 y A. ROLAND, 1978.

³ Sobre la historia de la navegación submarina, hay muchas referencias. Señalemos, por ejemplo, en el caso de los submarinos militares, J. P. DELGADO, 2011. Un resumen cronológico de las principales

I

LA REFERENCIA EN EL RENACIMIENTO: DE VALTURIO A AYANZ

Las técnicas de supervivencia bajo el agua, principalmente las campanas de inmersión, tienen una larga historia, que se mezcla con las leyendas, muchas de ellas verosímiles, de la Antigüedad. Estas campanas fueron un auxiliar imprescindible para los trabajos en los puertos y en obras públicas en zonas marítimas o riberas de ríos, y también para la pesca de, por ejemplo, coral. Jerónimo de Ayanz y Beaumont (1553-1613), un noble nacido en Navarra con una trayectoria militar muy relevante, fue igualmente un inventor muy destacado, como ha estudiado recientemente Nicolás García Tapia⁴. En 1602 probó varios equipos de buceo —un traje de buzo y equipos complementarios— en aguas del Pisuerga, en Valladolid, en presencia del rey, que le concedió dos privilegios sobre esta cuestión. Al parecer, el buzo permaneció más de una hora bajo el agua. Como explica García Tapia, el aire se suministraba por medio de unos fuelles accionados desde la orilla o desde una barca. Ayanz había pensado que los fuelles los llevara el mismo buceador, o que fuera provisto de una vejiga con aire. Los tubos que conectaban los fuelles y el buceador deberían haber sido suficientemente flexibles, pero en la época no había materiales disponibles adecuados. Ayanz pensó en hacerlos con tuberías de cobre cortas, articuladas entre sí con anillas metálicas forradas con cuero flexible. Primero consideró dos tubos, pero para mejorar la movilidad del buzo acabó disponiendo de uno solo, con válvulas que evitaban el retorno. Igualmente, impedían que el agua pudiese penetrar en la máscara del buzo. El traje, además, disponía de gafas impermeabilizadas y elementos y herramientas de trabajo.

Jerónimo de Ayanz también diseñó un barco submarino, lo que le convierte en un auténtico pionero. Como señala García Tapia, el proyecto de Ayanz tenía pocos antecedentes: un diseño de Roberto Valturio, que aparece en su *De re militari* (manuscrito de 1465, edición de 1534, libro 11, p. 314), pero del que no se conoce su aplicación; un diseño de Guy de Vigevano, poco verosímil; otro de Leonardo da Vinci, del que se conserva únicamente un boceto muy esquemático; y el de William Bourne, de 1578, que se comentará en este capítulo.

Según García Tapia, Ayanz diseñó dos modelos distintos de barca submarina. Ambos estaban debidamente calafateados interiormente y cerrados. El aire de la cámara interior se renovaba por unos fuelles accionados desde la superficie, conectados con la barca mediante tubos flexibles con un diseño parecido al de los equipos de buceo. Explica García Tapia que unas válvulas de aspiración y de escape servían para aspirar el aire fresco y expulsar el aire contaminado. En el interior de la barca, el aire se difundía con unos ventiladores accionados con unas velas que giraban con la

contribuciones a la navegación submarina, en HARRIS, 2011. Como referencias históricas, ver J. A. FOREST y NOALHAT, 1900 y G. L. PESCE, 1911.

⁴ N. GARCÍA TAPIA, 1989, 1990 y 2001.